

Titre: Planification stratégique d'un système de transport par taxi
Title:

Auteur: Jérôme Laviolette
Author:

Date: 2017

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Laviolette, J. (2017). Planification stratégique d'un système de transport par taxi
Citation: [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
<https://publications.polymtl.ca/2738/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/2738/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Catherine Morency, & Nicolas Saunier
Advisors:

Programme: Génie civil
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

PLANIFICATION STRATÉGIQUE D'UN SYSTÈME DE TRANSPORT PAR TAXI

JÉRÔME LAVIOLETTE

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUES ET DES MINES

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES

(GÉNIE CIVIL)

AOÛT 2017

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

PLANIFICATION STRATÉGIQUE D'UN SYSTÈME DE TRANSPORT PAR TAXI

par : LAVIOLETTE Jérôme

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. TRÉPANIÉ Martin, Ph. D., président

Mme MORENCY Catherine, Ph. D., membre et directrice de recherche

M. SAUNIER Nicolas, Ph. D., membre et codirecteur de recherche

M. AGARD Bruno, Ph. D., membre

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce projet de recherche a été possible grâce au soutien de plusieurs personnes et organisations. Je tiens donc tout d'abord à remercier très sincèrement ma directrice de recherche, professeure Catherine Morency pour son aide, sa confiance, ses idées, ses conseils et pour avoir cru en moi tout au long de ce projet. Je tiens aussi à souligner son habileté à motiver ses étudiants, à leur transmettre son énergie qui permet de croire que tout peut être réalisé. Elle nous amène constamment à nous surpasser à travers des objectifs toujours plus ambitieux. Je tiens à remercier mon co-directeur de recherche, le professeur Nicolas Saunier, pour ses conseils, sa disponibilité et son expertise, complémentaire à celle de Catherine, qui m'ont grandement aidé pour plusieurs aspects de mon mémoire.

Faire sa maîtrise en transport à Polytechnique c'est être entouré de gens compétents, dynamiques et toujours prêts à aider. Je remercie l'équipe de recherche de la Chaire Mobilité, Hubert Verreault, Jean-Simon Bourdeau et Pierre-Léo Bourbonnais. J'accorde une mention particulière à Jean-Simon, grand maître des données, qui, grâce à sa patience et à son expertise a su m'aider à développer les outils nécessaires en gestion de base de données pour traiter la quantité considérable de données qui ont servi à réaliser les analyses présentées dans ce mémoire. Mes collègues dans les bureaux du corridor des transports sont aussi à mentionner. Il règne, dans ces bureaux, une camaraderie et un esprit d'entraide qui permettent à tous de s'améliorer constamment à travers les échanges productifs qui s'y tiennent. Je tiens à remercier particulièrement Gabriel Lefebvre-Ropars pour son amitié, ses conseils et le divertissement qu'il procure lors de sa présence à Polytechnique.

Conscient que la rédaction sans coquilles n'est pas ma plus grande force, je tiens à remercier ma mère, Louise, ma copine, Samuelle et mon ami de longue date, Antoine Charette, pour leur relecture patiente de plusieurs chapitres de mon mémoire. Le support de Samuelle dépasse évidemment la simple relecture. Je la remercie profondément pour son amour, son soutien, ses conseils et ses encouragements dans les moments les plus difficiles.

Finalement, la réalisation de ce projet sur l'industrie du taxi n'aurait pu être possible sans le soutien financier du Bureau du taxi de Montréal et de Revenu Québec. J'offre une mention particulière à Kim Thibault du BTM pour sa confiance et ses réponses à mes questions sur le fonctionnement du taxi. Je remercie aussi Taxi Hochelaga, Taxi Diamond et Coop de l'Ouest pour le partage de leurs

précieuses données. Je conclus en remerciant Stantec pour m'avoir octroyé une bourse d'excellence aux études supérieures, participant ainsi au soutien financier de ce projet.

RÉSUMÉ

Le taxi est un mode de transport qui offre un service porte-à-porte sur demande et qui répond donc à un besoin de mobilité essentiel au sein d'une grande ville. Ces dernières années, de nouvelles formes de mobilité appuyées par des outils technologiques sont venues bousculer le mode de fonctionnement et la réglementation de cette industrie qui a peu évolué dans les dernières décennies. Les entreprises de taxi ont choisi d'intégrer il y a plusieurs années des dispositifs de collecte de données GPS à leur flotte de véhicules. Les données générées par ceux-ci sont d'une impressionnante richesse et peuvent être exploitées à des fins d'analyse, de planification et d'amélioration des services de transport par taxi. Au Québec, et à Montréal en particulier, ces données sont encore peu utilisées à ces fins et ne reçoivent pas une attention proportionnelle à leur potentiel par les acteurs de l'industrie. Ce projet de recherche poursuit ce qui fut entamé en 2015 par Lacombe (2016) dans son travail de maîtrise, c'est-à-dire le développement d'outils de planification et ainsi que d'indicateurs de suivi et de performance du transport par taxi. Le présent projet élargit l'ampleur de la démarche en employant cette fois des données de plusieurs intermédiaires en service couvrant l'ensemble de l'île de Montréal. Un objectif additionnel vise à identifier, parmi ces indicateurs, ceux qui s'avèrent les plus pertinents dans l'évaluation et la modernisation de la régulation actuelle qui s'appuie sur un système de permis octroyés par zones géographiques.

Afin de répondre à ces objectifs, une revue de littérature orientée selon trois thématiques est d'abord effectuée. La première thématique traite de l'historique et des formes de la réglementation du taxi par un système de permis. La seconde aborde les enjeux et les impacts liés à l'arrivée récente du *ridesourcing*, ce nouveau type de transport sur demande offert via des applications mobiles et dont l'entreprise la plus connue est Uber. La troisième revoit les avancées récentes de l'utilisation des données GPS de taxi à des fins d'amélioration et de compréhension de cette industrie.

Par la suite, une mise en contexte décrit le fonctionnement, les principaux acteurs et la réglementation entourant les services de transport par taxi au Québec et à Montréal.

Les données utilisées proviennent de trois intermédiaires en service, ce qui fait en sorte que leurs formats diffèrent. En ce sens une méthodologie de construction de base de données permettant de faciliter le calcul des indicateurs est développée. Cette méthodologie comprend l'identification de critères de validité des courses et des points GPS inexistant dans la littérature et intègre une

pondération des permis de taxi observés de façon à pouvoir estimer ces indicateurs pour les trois agglomérations de taxi de l'île de Montréal.

Le cœur du mémoire est le développement d'un tableau de bord interactif permettant de consulter, selon différentes échelles spatiales et temporelles, les indicateurs de suivi de la demande de déplacements et de l'offre de service de taxi. Ce tableau de bord permet aussi l'analyse selon les objets que sont le véhicule (le taxi) et le chauffeur. L'analyse de la demande révèle qu'une course moyenne de taxi à Montréal dure 12,5 minutes et est longue de 5,4 km. De plus, les revenus de courses sont estimés à partir des traces GPS pour la première fois à Montréal, ce qui permet d'établir que qu'une course coûte en moyenne 14,26 \$. Au niveau des véhicules, ceux-ci sont en service 11,4 heures par jour, durant lesquelles ils effectuent en moyenne 10,5 courses. Ces courses occupent 16,6 % de leur temps en service et 29 % de leur distance parcourue. Sur l'île de Montréal, la demande est maximale dans les nuits de vendredi à samedi et de samedi à dimanche, mais l'offre de service ne semble pas suivre cette même tendance.

L'analyse de la desserte de l'aéroport révèle que 6 % des courses de taxi à Montréal ont une origine ou une destination à l'aéroport que ces courses génèrent 13,9 % de l'ensemble des revenus de taxi du territoire. Toutefois, le modèle de gestion de l'offre induit de nombreux voyages à vide depuis ou à destination de l'aéroport alors que 97 % des courses s'y destinant sont effectuées par des taxis qui ne peuvent pas y prendre des clients.

Finalement, une méthode d'analyse de l'utilisation des permis vise à outiller les décideurs dans leur mandat d'établir le nombre de permis autorisés à desservir une agglomération. Cette analyse révèle qu'un permis moyen de taxi est en service seulement 46,6 % des heures contenues dans une année. De plus, une variabilité importante dans le partage du temps d'utilisation des permis par les chauffeurs est observée. Ce mémoire se conclut sur des approches futures à explorer afin de poursuivre la recherche sur le transport par taxi.

ABSTRACT

Taxi is a mode of transportation that offers door to door on-demand services, therefore meeting an essential mobility need in cities. In the last few years, new forms of mobility based on mobile applications have seen a tremendous increase in popularity and have therefore challenged the established taxi market and regulations. The taxi companies, which have been slow to adapt to these newcomers, have been recently providing their fleets with GPS tracking devices. The data collected by those fleets of roaming taxis is rich in information that can be exploited to analyze, plan and improve taxi services. In the province of Québec and in the City of Montréal in particular, this data has yet to be exploited to its full potential. This project follows up on the first large scale research that was conducted on the Montreal taxi industry by Lacombe in 2016. It aims to pursue the development of key performance and monitoring indicators of a taxi transport system. The current data set is provided by three of Montreal's main taxi companies and therefore allows the study of the three taxi zones that cover the Island of Montréal. An additional objective of this research is to identify the most useful indicators to be used in evaluating and updating the current taxi regulation framework that is based on a taxi license system per zone.

This thesis is introduced by a literature review framed around the three subjects introduced above. The first part reviews the forms of the current taxi regulations in North America based mainly on a license system. The second part deals with the challenges and impacts of the rise of *ridesourcing*, the new form of transport service based on mobile applications and offered by Transportation Network Companies such as Uber. The third part reviews the latest research exploring taxi GPS data to improve and understand this industry.

Since the project studies the case of Montréal, the regulation framework and the main stakeholders of the taxi industry in the province of Québec are described. It is followed by a brief description of Montréal's geography, transport network and modal share relevant to the analysis.

A database is built to ease the calculations of indicators from the data provided by the different taxi companies. The data preparation methodology includes the identification of criteria not found in the literature to determine if rides and GPS data points are valid. The preparation of the data also includes the calculation of expansion factors applied to the sample of taxi licenses to estimate indicators for the entire taxi fleet of the island of Montréal.

The core of this thesis is the development of an interactive dashboard of taxi indicators allowing for the analysis of taxi demand and supply at several spatial and temporal scales. The dashboard also includes the display of indicators by objects (vehicles and drivers). The analysis of demand reveals that, on average, a taxi ride in Montreal lasts for 12.5 minutes and covers 5.4 km. For the first time in Montréal, the ride revenues are calculated by using GPS traces, which yields an estimated average ride costs of 14.25 \$. In terms of vehicles, they are on service an average of 11.4 hours per day during which they do an average of 10.5 rides. These rides account for 16.6 % of the time in service and 29 % of the kilometers travelled. In the city, the demand reaches its peak during Friday and Saturday night but the supply seems not to follow this trend.

The analysis of the taxis holding the special Montréal Airport permit reveals that 6 % of all the rides on the island of Montréal has an origin or a destination at the airport, generating 13.9 % of all taxis revenues. The current supply management of taxi services at the airport induces an important number of empty vehicle-kilometres travelled as 97 % of all rides heading to the airport are done by taxis unauthorized to pick up passengers in the airport restricted area.

Finally, a methodology to analyze the intensity of use of a taxi license is developed to help taxi authorities better assess the number of licenses that should be operating in an area. The analysis reveals that, on average, a license is in service 46.6 % of the 8760 hours in a year. It also demonstrates large variations in the way taxis are shared between drivers. This thesis concludes by giving insights on further research that could be conducted on a taxi transport system

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	VII
TABLE DES MATIÈRES	IX
LISTE DES FIGURES.....	XVII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XXII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Problématique.....	1
1.2 Objectifs	2
1.3 Thèmes abordés et structure du mémoire.....	3
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	5
2.1 Historique de la réglementation de l'industrie du taxi	5
2.1.1 Des expériences de dérégulation infructueuses.....	6
2.1.2 Le contrôle des entrées par un système de permis	8
2.1.3 Classification des systèmes de régulation des entrées	9
2.1.4 Point de vue économique	12
2.2 Un marché ébranlé par les compétiteurs technologiques	13
2.2.1 Types de services offerts par les TNCs	14
2.2.2 Un type de service qui ne cadre pas dans la réglementation du taxi traditionnel	14
2.2.3 Une documentation scientifique peu étoffée	15
2.2.4 Impacts potentiels.....	16
2.2.5 Au Québec et à Montréal	17
2.3 Potentiel des données GPS et grandes thématiques d'analyse	19

2.3.1	Typologie de la demande de transport par taxi	19
2.3.2	Modélisation de la demande.....	20
2.3.3	À la recherche du prochain passager.....	21
2.3.4	Analyses du comportement des chauffeurs	22
2.3.5	Identifications des données erronées	22
2.3.6	Analyses des données montréalaises	24
2.4	Indicateurs d'offre et de demande	24
CHAPITRE 3 MISE EN CONTEXTE – LE TAXI AU QUÉBEC ET À MONTRÉAL.....		28
3.1	Règlementation de l'industrie du taxi au Québec et à Montréal	28
3.1.1	Contrôle de la quantité	29
3.1.2	Contrôle de la qualité	30
3.1.3	Contrôle économique	31
3.1.4	Intermédiaires en service.....	32
3.1.5	Règlementation du transport par taxi à l'Aéroport de Montréal	32
3.2	Montréal : mise en contexte	35
3.2.1	Démographie et géographie	35
3.2.2	Réseau de transport	36
3.2.3	Mobilité des Montréalais.....	38
3.2.4	Description des agglomérations de taxi de l'île de Montréal	40
CHAPITRE 4 DESCRIPTION DES DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE.....		42
4.1	Données disponibles.....	42
4.1.1	Données de taxi	42
4.1.2	Autres données	43
4.2	Types et formats des données taxis	43

4.2.1	Les traces GPS	44
4.2.2	Les tables de répartition de courses.....	45
4.2.3	Format et précision sur les données transmises	46
4.2.4	Statistiques sur les données utilisées.....	48
4.3	Méthodologie de construction de la base de données	49
4.3.1	Schéma	49
4.3.2	Principe de partitionnement horizontal	50
4.3.3	Étapes de préparation	52
4.4	Méthode de pondération des permis.....	62
4.4.1	Méthodologie d'identification du type de permis et de l'agglomération	63
4.4.2	Calcul de pondération.....	73
CHAPITRE 5	INDICATEURS DE SUIVI DE L'INDUSTRIE	77
5.1	Identification et classification des indicateurs	77
5.2	Synthèse des méthodes de calcul des indicateurs et défis	81
5.2.1	Défis des indicateurs liés aux courses	82
5.2.2	Défis liés aux indicateurs d'offre de service des véhicules.....	85
5.3	Identification des filtres temporels et spatiaux.....	87
5.3.1	Échelles temporelles.....	87
5.3.2	Zone d'analyse	90
5.3.3	Tableau synthèse des indicateurs et filtres spatiaux et temporels	90
5.4	Présentation du tableau de bord avec exemple d'indicateurs.....	93
5.4.1	Page de l'objet : demande	93
5.4.2	Page de l'objet : offre	95
5.4.3	Page de comparaison de l'offre et de la demande	97

5.4.4	Page de l'objet véhicule	100
5.4.5	Page de l'objet chauffeur.....	102
5.5	Présentation et analyse des principaux indicateurs pour les trois agglomérations.....	104
5.5.1	Analyse de la demande.....	105
5.5.2	Analyse de l'offre.....	123
5.5.3	Comparaison de l'offre et de la demande.....	129
5.5.4	Indicateurs par véhicule et par chauffeur	139
5.5.5	Analyse des déplacements entre les agglomérations.....	146
5.5.6	Analyse de l'aéroport	148
CHAPITRE 6	ANALYSE DE L'UTILISATION DES PERMIS	153
6.1	Quantifier l'utilisation des permis.....	153
6.1.1	Méthodes d'estimation de l'utilisation de l'ensemble des permis	155
6.1.2	Comparaison de l'utilisation des permis selon l'agglomération	160
6.1.3	L'utilisation selon le nombre de chauffeurs.....	162
6.1.4	Les propriétaires de permis à Montréal respectent-ils la réglementation new-yorkaise ? 169	
6.1.5	Une estimation erronée.....	170
CHAPITRE 7	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	171
7.1	Synthèse de la recherche	171
7.2	Limitations	174
	Catégorie 1 : Échantillon de permis observés	174
	Catégorie 2 : Mauvais fonctionnement des dispositifs à bord et erreurs de manipulation humaine	176
	Catégorie 3 : mauvaise adaptation des dispositifs à bord aux activités des taxis de Montréal	176

Catégorie 4 : Méthodologie utilisée pour préparer les données	177
7.3 Contributions	177
7.4 Recherches futures et perspectives.....	178
BIBLIOGRAPHIE	180

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Classification des types de régulation des entrées dans le marché du taxi élaborée par Schaller.....	10
Tableau 2.2 : Nombre de permis et type de régulation des entrées pour les 8 services de taxi en ordre d'importance en Amérique du Nord (Commission des Transports du Québec, 2017; Schaller, 2007)	11
Tableau 2.3 : Liste des indicateurs de l'offre et de la demande de taxi identifiés par Lacombe 2016, trouvés dans la littérature seulement ou ajoutés dans le cadre du présent mémoire	25
Tableau 2.4 : Liste des indicateurs de l'offre et de la demande de taxi identifiés par Lacombe 2016, trouvés dans la littérature seulement ou ajoutés dans le cadre du présent mémoire (suite) ...	26
Tableau 2.5 : Classification des indicateurs de taxi élaborée par Lacombe (2016)	27
Tableau 3.1 : Répartition des 310 permis de « taxi » d'Aéroport réguliers selon les trois agglomérations de taxi de l'île de Montréal.....	33
Tableau 3.2 : Statistiques démographiques et géographiques de l'île de Montréal.....	36
Tableau 3.3 : Statistiques démographiques des trois agglomérations de taxi de Montréal.....	41
Tableau 4.1 : Contenu des tables fournies par le système Fraxion	46
Tableau 4.2 : Deux cas possibles d'ensembles de valeurs pour le champ « statut du dôme » des tables GPS du système Fraxion.....	47
Tableau 4.3 : Contenu des tables fournies par le système de Taxi Diamond.....	48
Tableau 4.4 : Valeurs possibles pour le champ « statut » des véhicules de Taxi Diamond.....	48
Tableau 4.5 : Étapes de traitement de préparation des données de taxi	52
Tableau 4.6 : Résultats du traitement des tables de données GPS du système Fraxion.....	54
Tableau 4.7 : Résultat du traitement de Lacombe pour les tables de données GPS de Taxi Diamond	54
Tableau 4.8 : Extrait d'une table GPS contenant une course – Taxi Hochelaga, novembre 2016	56
Tableau 4.9: résultat du traitement des tables de courses	60

Tableau 4.10 : Informations contenues dans les GPS agrégées aux 5 minutes.....	61
Tableau 4.11 : Réduction de la taille et du nombre de lignes des tables GPS suite au processus d'agrégation aux 5 minutes.....	62
Tableau 4.12 : Résultats de l'identification des agglomérations des permis, par intermédiaire	74
Tableau 4.13 : Résultat de l'identification des permis d'aéroport réguliers, par intermédiaire et par agglomération.....	74
Tableau 4.14 : Pondération des permis réguliers pour le mois d'octobre 2016	75
Tableau 4.15: Pondération des permis dits « connectés » pour le mois d'octobre 2016	76
Tableau 5.1 : Liste des indicateurs par catégorie et formes d'analyse suggérées	80
Tableau 5.2 : Liste des indicateurs par catégorie et formes d'analyse suggérées (suite).....	81
Tableau 5.3 : Liste des indicateurs par catégorie et formes d'analyse suggérées	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 5.4 : Statuts considérés pour le calcul des définitions de l'offre.....	87
Tableau 5.5: Échelles temporelles et spatiales d'analyse des indicateurs	87
Tableau 5.6 : Liste des indicateurs du tableau de bord par catégorie et échelles temporelles et spatiales suggérées	92
Tableau 5.7 : Listes des dates manquantes et des dates utilisées pour l'estimation de ces dates .	105
Tableau 5.8 : Liste des trois journées avec la plus forte demande et des trois journées avec la plus faible demande en 2016.....	107
Tableau 5.9 : Tableau des statistiques par course pour les trois agglomérations et le territoire complet de Montréal.....	118
Tableau 5.10 : Comparaison de l'offre de service et de la demande desservie pour les jours de semaine moyens en 2016, (CV = Coefficient de variation)	131
Tableau 5.11 : Répartition des destinations de l'ensemble des déplacements de 2016 depuis chaque zone d'origine.....	147
Tableau 5.12 : Répartition des zones d'origines pour chaque zone de destination	147

Tableau 5.13 : Revenu moyen par course en fonction de l'origine et de la destination.	148
Tableau 5.14 : Statistiques sur les courses et revenus générés par l'aéroport	148
Tableau 6.1: Permis selon le taux d'utilisation, période active ≤ 10 mois VS période active > 10 mois et calcul de la statistique du test du KHI2	157
Tableau 6.2 : Utilisation moyenne de l'ensemble des 4421 permis réguliers de l'île de Montréal	160
Tableau 6.3 : Statistiques de l'utilisation des permis selon l'agglomération	161
Tableau 6.4 : Statistiques du nombre de chauffeurs par permis (seuil de minimal de 5% d'utilisation par chauffeur)	165
Tableau 6.5 : Statistiques d'utilisation des permis, segmentés selon le nombre de chauffeurs significatifs	166

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1 : Carte des agglomérations de taxi de Montréal	30
Figure 3.2 : Autocollant explicatif des prix des courses à l'origine de l'Aéroport de Montréal (CTQ, 2012).....	34
Figure 3.3 : Carte de la zone restreinte officielle de l'aéroport et de la zone restreinte étendue suggérée.....	35
Figure 3.4 : Carte des agglomérations de taxi, du réseau routier supérieur, du réseau de train de banlieue et du réseau de Métro de Montréal	37
Figure 3.5 : Répartition modale des déplacements ayant pour origine l'île de Montréal	39
Figure 3.6 : Motifs des déplacements produits sur l'île de Montréal (avec et sans retour au domicile)	39
Figure 3.7 : Répartition modale des déplacements à l'origine des trois agglomérations de taxi de Montréal	40
Figure 4.1 : proportion des points selon l'intervalle de temps avec le point précédent, taxi hochelaga, mois de juillet 2016	44
Figure 4.2 : Taux de connexion des véhicules du système Fraxion pour l'année 2016	47
Figure 4.3 : Architecture de la base de données taxi multi-intermédiaire.....	50
Figure 4.4 : Représentation du partitionnement horizontal des tables GPS.....	51
Figure 4.5 : Représentation du partitionnement horizontal des tables de courses	52
Figure 4.6: Schématisation des possibilités de changement de statut dans les tables GPS permettant d'identifier une course.....	56
Figure 4.7 : Distribution de la durée des courses de chaque intermédiaire.....	57
Figure 4.8 : Distribution de la distance des courses brutes de chaque intermédiaire [en mètre] ...	58
Figure 4.9: distribution des vitesses moyennes des courses pour chaque intermédiaire.....	59
Figure 4.10: Répartition des véhicules selon les courses et le temps passé en attente à l'aéroport	67
Figure 4.11 : Schéma décisionnel d'identification des permis	70

Figure 4.12 : Proportion des véhicules des intermédiaires selon le % du temps d'activité passé en statut non-disponible ou hors-service.....	72
Figure 4.13 : Nombre moyen de courses par jour actif en fonction de la proportion du temps passé en statut non-disponible (Fraxion) ou hors-service (Diamond)	73
Figure 5.1 : Formes d'analyse des indicateurs, tiré de (Lacombe, 2016), p.51, Figure 4-6.....	79
Figure 5.2 : Proportion des véhicules (permis réguliers) de chaque intermédiaire selon le nombre moyen de courses effectuées par jour actif depuis la date de la première course	83
Figure 5.3 : Schéma des définitions d'offre *Les autres services peuvent inclure : livraison, déverrouillage de portière, etc.	86
Figure 5.4 : Répartition temporelle du nombre de courses par heure pour une semaine moyenne selon la zone d'origine, 2016	89
Figure 5.5 : Répartition annuelle du nombre de courses par semaine selon l'agglomération du permis, 2016	89
Figure 5.6 : Page du tableau de bord sur la demande.....	94
Figure 5.7 : Page du tableau de bord sur l'offre	96
Figure 5.8 : Page de comparaison de l'offre et de la demande	99
Figure 5.9 : Page du tableau de bord sur l'objet véhicule.....	101
Figure 5.10 : Page du tableau de bord sur l'objet chauffeur	103
Figure 5.11 : Répartition hebdomadaire moyenne de la demande de taxi desservie par les 4420 permis de l'île de Montréal, Année 2016.....	106
Figure 5.12 : Répartition temporelle relative d'une semaine moyenne, par agglomération des permis	108
Figure 5.13 : Répartition annuelle de la demande hebdomadaire de déplacements par taxi	109
Figure 5.14 : répartition annuelle de la demande hebdomadaire de déplacements par taxi, agglomération A-05 et A-12, 2016	110
Figure 5.15 : Carte du nombre d'origines de courses de taxi au centre de Montréal, segmenté par secteur municipal de l'enquête OD 2013.....	111

Figure 5.16 : Répartition cumulée croissante des courses de taxi par secteur municipal, 2016 ..	112
Figure 5.17 : Répartition spatiale de la demande journalière moyenne de taxi, Agglomération A-05	113
Figure 5.18 : répartition spatiale de la demande journalière moyenne de taxi, agglomération a-11	114
Figure 5.19 : Répartition spatiale de la demande journalière moyenne de taxi, Agglomération A-12	114
Figure 5.20 : Répartition hebdomadaire de la concentration de la demande dans les 10 hexagones les plus achalandés de chaque heure	115
Figure 5.21 : Carte des 30 hexagones qui se retrouvent dans les 10 plus importants hexagones au moins 1 heure au cours de la semaine moyenne	116
Figure 5.22 : Ellipses de dispersion standards pondérées pour la semaine moyenne, le dimanche à 3 h et le lundi à 7 h	117
Figure 5.23 : Répartition hebdomadaire du nombre de courses et de la distance moyenne parcourue par course pour tous les permis du territoire, 2016	119
Figure 5.24 : Répartition hebdomadaire nombre de courses et de la durée moyenne par course pour tous les permis du territoire, 2016	119
Figure 5.25 : Répartition hebdomadaire du nombre de courses et du prix moyen par course pour tous les permis du territoire, 2016	120
Figure 5.26 : Carte des revenus moyens horaires par km ² , 2016	122
Figure 5.27 : Revenu horaire et nombre de courses horaire de l'hexagone le plus rentable de chaque heure	123
Figure 5.28 : Répartition hebdomadaire moyenne de l'offre de service et de l'offre de véhicules disponible (Véhicules-heures)	124
Figure 5.29 : Répartition hebdomadaire moyenne de l'offre de service, par agglomération, 2016	126

Figure 5.30 : Carte de l'offre de service de taxi en véhicules-heures par jour par km ² des secteurs municipaux de l'enquête OD 2013	127
Figure 5.31 : Comparaison de l'offre de service en véhicules-heures par km ² avec la distance au centre-ville (CV) des secteurs municipaux	128
Figure 5.32 : Carte de l'offre de service (véhicules-heures par km ²) pour un jour moyen	129
Figure 5.33 : Comparaison de l'offre de service et des courses effectuées	130
Figure 5.34 : Répartition hebdomadaire moyenne du ratio de courses par heures de service pour les trois agglomérations de taxi de Montréal	133
Figure 5.35 : Carte des SM selon le nombre de courses par véhicule-heure de service par km ²	134
Figure 5.36 : Carte hexagones selon le nombre de courses (origines) par véhicule-heure de service, données agrégées pour une journée moyenne en 2016	135
Figure 5.37 : Carte des hexagones selon le ratio de courses par véhicules-heure de service, hexagones avec au moins 50 courses par jour seulement	137
Figure 5.38 : Carte des hexagones selon le ratio du revenu généré par véhicule-heure disponible, Hexagones avec au moins 50 courses par jour seulement	138
Figure 5.39 : Distribution du nombre de courses par véhicule par jour de service - moyenne journalière par agglomération en 2016.....	140
Figure 5.40 : distribution de la distance parcourue moyenne par véhicule par jour de service - moyenne journalière par agglomération en 2016.....	141
Figure 5.41 : Distribution de la durée moyenne en service par véhicule par jour de service - moyenne journalière par agglomération en 2016.....	142
Figure 5.42 : Distribution du nombre moyen de courses par chauffeur par jour - jour de travail moyen en 2016 – Par agglomération du permis.....	144
Figure 5.43 : Distribution du nombre d'heures travaillées par chauffeur par jour - jour de travail moyen en 2016 – Par agglomération du permis.....	145
Figure 5.44 : Distribution du revenu horaire moyen par chauffeur par jour - jour de travail moyen en 2016 – Par agglomération du permis.....	145

Figure 5.45 : Répartition hebdomadaire moyenne des courses à l'origine et des courses à destination de l'aéroport	149
Figure 5.46 : Répartition hebdomadaire moyenne des courses à l'origine de l'aéroport et de l'offre de véhicules-heures disponibles	150
Figure 6.1 : Distribution de la durée (en jours) de la période active de chaque permis pour les 1878 permis réguliers de la base de données en 2016.....	154
Figure 6.2 : Distributions des permis selon le taux d'utilisation – Durée active > 10 mois VS durée active <= 10 mois	158
Figure 6.3 : Distribution des 1512 permis réguliers selon le taux utilisation et Loi normale $N(46.6;0.016)$	159
Figure 6.4 : Distribution des permis par agglomération selon le taux d'utilisation.....	161
Figure 6.5 : Distribution des taxis, avec et sans permis d'aéroport, selon le taux d'utilisation annuel	162
Figure 6.6 : Distribution des 1512 permis de l'échantillon selon le nombre de chauffeurs	163
Figure 6.7 : Distribution des 1512 permis selon le nombre de chauffeurs significatifs ($\geq 5\%$ de l'utilisation du permis).....	164
Figure 6.8 : Distribution des permis selon le taux d'utilisation, segmenté selon le nombre de chauffeurs significatifs par permis	166
Figure 6.9 : Répartition des permis dans chaque groupe de 20 % des permis selon le nombre de chauffeurs	167
Figure 6.10 : Répartition de l'utilisation des taxis par chauffeur – les nombres d'heures des étiquettes de données sont la correspondance pour une semaine moyenne	168

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

La liste des sigles et abréviations présente, dans l'ordre alphabétique, les sigles et abréviations utilisés dans le mémoire ou la thèse ainsi que leur signification. En voici quelques exemples :

AMT	Agence Métropolitaine de Transport
BTM	Bureau du Taxi de Montréal
CSV	Comma-separated Value (type de fichier où les données sont séparées par des « , »)
CTQ	Commission des transports du Québec
GPS	Global Positioning System
MTMDET	Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports
SAAQ	Société de l'assurance automobile du Québec
SQL	Structured Query Language (langage de requête structurée)
STM	Société de Transport de Montréal
TNC	Transportation Network Companies
CBD	Central Business District

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Le taxi est considéré comme le plus vieux mode de transport public et il a grandement évolué depuis son apparition à Londres et à Paris au milieu du 17^e siècle. Il est aujourd'hui un mode de transport important en milieu urbain, pas uniquement par son nombre de déplacements, mais aussi pour les besoins auxquels il répond. L'utilisation récente de dispositifs GPS à bord des véhicules permettant la collecte passive des données de géolocalisation et de courses ouvre la voie à une panoplie d'opportunités d'analyse de l'offre et de la demande de transport par taxi.

1.1 Problématique

À Montréal, un règlement du Bureau du taxi de Montréal (BTM) obligera, à partir de septembre 2017, tous les véhicules à être équipés d'un système mondial de localisation GPS permettant de « localiser la position et de suivre le trajet du taxi en temps réel » (Ville de Montréal, 2017). De plus, il sera obligatoire pour tous les propriétaires de taxi de fournir ces données à la nouvelle plateforme que développe actuellement le BTM (printemps-été 2017). Cette disposition récente suit une tendance mondiale des autorités régionales à obliger les propriétaires de taxi à équiper leurs véhicules de ce type de dispositif et à leur transmettre ces données. Bien que cette disposition du règlement sur le transport entrera en vigueur seulement en septembre 2017, plusieurs intermédiaires en service préservent déjà depuis quelques années les données collectées à bord des véhicules de leurs flottes. Toutefois, malgré le potentiel et la richesse de ces données, celles-ci sont malheureusement encore très peu utilisées à des fins de planification, d'analyse et d'amélioration de l'offre et de l'utilisation du transport par taxi. En outre, la majorité des intermédiaires en service de taxi, le Bureau du taxi de Montréal et la Commission des transports du Québec n'exploitent pas ces données afin d'avoir un meilleur aperçu des activités de leurs véhicules et de la demande desservie.

Bien que quelques études existent sur le sujet, le rôle des taxis dans la mobilité urbaine, notamment sa relation avec les nouveaux modes de transport (vélo en libre-service, autopartage et solution technologique de mobilité sur demande tel Uber) n'est pas encore très bien perçue. La question est donc de comprendre comment l'un des plus vieux modes de transport public (Ray et Cooper, 2010) s'insère dans cette diversification de l'offre de transport et dans cette nouvelle tendance de mobilité partagée appuyée par des outils technologiques. De quelle façon l'analyse et l'utilisation des

données GPS peuvent-elles permettre à l'industrie du transport par taxi de se moderniser afin de préserver son importance dans l'offre de mobilité urbaine ? Ces questions sont au cœur de la première problématique à laquelle ce mémoire vise à répondre.

Une seconde problématique, cette fois liée à la réglementation et au contrôle de l'offre, est aussi étudiée. Bien que l'offre de taxi soit gérée de façon privée, ce mode de transport reste un service public, et, par sa nature, nécessite d'être fortement réglementé afin d'assurer la protection du public, la qualité du service et un revenu décent aux chauffeurs. L'une des trois composantes principales de cette réglementation concerne la gestion de l'offre, plus précisément, le contrôle des entrées sur le marché par un système de permis ou de licences. Le gouvernement du Québec, comme la majorité des législations en Amérique du Nord, impose un quota de permis selon des limites géographiques. Il est toutefois légitime de se demander si le contrôle du nombre de permis est le meilleur outil pour préserver un équilibre entre le niveau de service et la demande sur l'ensemble du territoire et ce, à tout moment de la journée, sachant que sans l'analyse des données GPS, il est impossible de mesurer l'utilisation réelle de ces permis. La problématique s'énonce comme suit : comment assurer que le nombre de permis autorisé puisse préserver le niveau et la qualité du service de taxi en maintenant un équilibre entre l'offre et la demande si aucune obligation n'est liée à l'utilisation d'un permis tel qu'offrir du service de taxi pour une durée minimale sur le territoire desservi ? Un permis en activité en moyenne 20 heures par semaine est-il équivalent à un permis offrant du service pendant 90 heures ? D'un point de vue économique, cette problématique est énoncée clairement par Cairns et Liston-Heyes (1996) qui avancent que l'équilibre optimal entre l'offre et la demande dans un marché réglementé du taxi ne peut être atteint que si l'intensité d'utilisation des permis est contrôlée. Les conclusions de cette théorie sont expliquées plus clairement dans la section 2.1.4 de la revue de littérature.

En somme, les problématiques énoncées se résument en un manque de connaissances sur plusieurs aspects du transport par taxi par l'ensemble des acteurs de cette industrie.

1.2 Objectifs

Ce travail vise à fournir des outils pour la planification stratégique de l'offre de transport par taxi en s'appuyant sur la caractérisation de l'offre de service et de l'utilisation des taxis sur le territoire

montréalais à l'aide des données GPS. Cet objectif principal se décline en plusieurs objectifs spécifiques :

- Développer des méthodes systématiques de calcul d'indicateurs d'offre et de demande à partir des données GPS et de courses de plusieurs intermédiaires en service ;
- Identifier les indicateurs clés et les filtres temporels et spatiaux à utiliser dans la construction d'un tableau de bord des indicateurs de suivi de l'offre et de la demande de déplacements par taxi ;
- Développer des méthodes d'analyse de l'utilisation des permis à l'aide des données GPS ;
- Évaluer la relation entre les zones de forte demande et le milieu avoisinant.

1.3 Thèmes abordés et structure du mémoire

Ce mémoire est présenté de façon à permettre de bien comprendre les analyses effectuées dans le cadre de cette recherche. Ainsi, le présent chapitre introduit les problématiques, les objectifs et la structure du mémoire. Le chapitre 2 contient la revue de littérature qui met en contexte les enjeux actuels reliés à ce service de transport. Puisque ce mémoire aborde la question du permis comme outil de régulation du marché du taxi, un bref historique de la réglementation du transport par taxi en Amérique du Nord et des mécanismes de régulation des entrées comme pilier du cadre réglementaire de cette industrie y est décrit. Ce chapitre dresse aussi un portrait des enjeux actuels découlant d'un nouveau type de service de transport de personnes qui, depuis quelques années, bouleverse l'industrie traditionnelle du taxi : le *ridesourcing*. La revue se poursuit par un aperçu des thématiques d'analyses récentes de l'industrie du taxi effectuées à l'aide des données GPS et se conclut par une revue des indicateurs identifiés dans la littérature et de ceux élaborés par Lacombe dans son mémoire *Méthodologie d'analyse et de suivi d'un système de transport par taxi* (Lacombe, 2016).

Le chapitre 3 présente une mise en contexte de l'industrie du taxi au Québec et à Montréal. Les intervenants de l'industrie et les principaux éléments de la réglementation en vigueur y sont détaillés. De plus, puisque les données utilisées pour les analyses proviennent des taxis de Montréal, le contexte géographique et démographique de la ville ainsi que la façon dont ses résidents se déplacent sont présentés sommairement.

Le chapitre 4 décrit les caractéristiques des données utilisées, les formes sous lesquelles ces données sont transmises, les hypothèses posées pour le traitement ainsi que les méthodes de préparation de la base de données. Ce chapitre décrit aussi la méthodologie élaborée pour pondérer les permis de façon à pouvoir estimer les indicateurs pour l'ensemble des taxis de l'île de Montréal.

Le chapitre 5 traite des indicateurs clés de suivi de l'offre et de la demande de déplacement par taxi et de l'élaboration d'un tableau de bord interactif. La première section du chapitre décrit l'architecture du tableau de bord alors que la deuxième section analyse l'offre et la demande de taxi à travers les indicateurs de taxi identifiés.

Le chapitre 6 décrit une méthodologie d'analyse de l'utilisation des permis basée sur l'échantillon de permis dont les données sont disponibles à des fins de recherche. Les principaux constats de cette analyse sont aussi décrits dans ce chapitre.

Le mémoire se termine par un chapitre synthèse qui rappelle les principaux résultats ainsi que les principales limitations associées aux méthodologies utilisées pour les obtenir. Les contributions de ce mémoire y sont démontrées et des pistes d'analyse futures sont amenées afin de faciliter la poursuite de la recherche sur l'industrie du taxi et le développement d'autres outils d'aide à la planification d'un système de transport par taxi

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Cette revue de littérature vise à bien saisir les enjeux reliés au taxi, les différents aspects de sa réglementation, les défis actuels et le potentiel des données GPS. Elle s'articule en quatre parties. La première présente un bref historique de la réglementation du taxi et ce qui définit son contexte actuel, notamment l'utilisation d'un système de permis. La deuxième section aborde les enjeux de régulation et les impacts liés à l'arrivée récente de compétiteurs technologiques tels Uber et Lyft. La troisième section présente les grandes thématiques actuelles de recherches basées sur l'utilisation des données GPS de taxi. La dernière section présente une revue des indicateurs de suivi de l'offre et de la demande par taxi ainsi qu'une classification de ces indicateurs par objets d'analyse.

2.1 Historique de la réglementation de l'industrie du taxi

Plusieurs auteurs se sont intéressés à l'histoire de l'industrie du taxi et de sa réglementation, notamment Mundy Ray et James Cooper dans leur ouvrage clé : *Taxi! Urban Economies and the Social and Transport Impacts of the Taxicab* (Ray et Cooper, 2010), mais aussi d'autres auteurs qui présentent un historique du taxi dans leur revue de littérature (Haider, 2015; Harding, Kandlikar et Gulati, 2016; Lacombe, 2016; Schaller, 2007); il serait donc redondant de présenter à nouveau l'histoire du taxi depuis ses débuts au 17^e siècle. Il convient néanmoins de préciser certaines informations sur l'origine et les formes de sa réglementation actuelle. Alors que certaines normes de qualité étaient déjà existantes en Amérique du Nord et en Europe, la régulation du nombre de taxis et des tarifs telle qu'on la connaît aujourd'hui débute dans les années 30 aux États-Unis, alors frappés de plein fouet par les effets de la Grande Dépression. L'absence de barrières à l'entrée à l'époque incite de nombreux travailleurs sans emploi à se tourner vers le taxi comme nouvelle source de revenus. Cette augmentation importante de l'offre couplée à une diminution de la demande liée à la baisse d'activité économique contribue à l'émergence de taxis illégaux, à d'importantes confrontations, parfois violentes, entre chauffeurs et à une baisse notable de la qualité du service (Harding et al., 2016). En commençant par New York, la majorité des grandes villes américaines et canadiennes imposent alors une réglementation des tarifs, un contrôle plus sévère de la qualité des véhicules ainsi qu'un système de permis (« medallion » ou « licence ») pour contrôler l'accès au marché du transport privé de personnes (Frankena et Pautler, 1984).

Aujourd'hui, le cadre réglementaire standard de l'industrie du taxi se définit selon trois sphères de contrôle telles qu'énoncées par Ray et Cooper (2010) : contrôle de la qualité, contrôle de la quantité et contrôle économique (tarif). De cette régulation par les autorités publiques de l'offre offerte par l'entreprise privée découle un accord tacite entre les autorités et les propriétaires, chauffeurs et entreprises de taxi visant à assurer un seuil de revenus pour l'industrie en échange d'un maintien de la qualité du service. C'est-à-dire qu'en l'échange d'une tarification juste et équitable fixée par les autorités et permettant une mince marge de profit, les opérateurs sont assurés de préserver leur exclusivité sur le transport par taxi au moyen d'un système de permis permettant un contrôle d'accès au marché (Ray et Cooper, 2010).

2.1.1 Des expériences de dérégulation infructueuses

Les années 70 sont marquées aux États-Unis par une montée importante de l'idéologie du libre marché qui mène à la déréglementation de plusieurs modes de transport de biens et de personnes au cours de cette décennie. Suivant cette tendance, une vingtaine de villes américaines dérèglementent le transport par taxi entre 1979 et 1983 (Dempsey, 1996). L'idée derrière ce courant de pensée économique est que les réglementations mises en place par l'État nuisent à l'atteinte d'un équilibre de marché qui profiterait à la fois au consommateur et à ceux qui offrent le service. Ainsi, il est suggéré que le retrait de la réglementation en place permettrait une saine compétition sur le marché du taxi qui mènerait à une augmentation de l'offre, une réduction des temps d'attente, une diminution des prix et laisserait une plus grande place à l'innovation, en plus de réduire les coûts de gestion de la régulation pour le gouvernement (Frankena et Pautler, 1984; Harding et al., 2016; Teal et Berglund, 1987).

Des analyses empiriques de l'effet de la dérégulation sur ces villes démontrent toutefois que celle-ci n'a pas eu l'effet escompté (Price Waterhouse, 1993), amenant de nombreux chercheurs et économistes à s'intéresser aux raisons qui expliquent pourquoi le marché du taxi est très difficile à libéraliser et rend donc nécessaire la régulation des prix et de l'accès au marché. Parmi les ouvrages les plus cités traitant des expériences de dérégulation du taxi en Amérique du Nord, on retrouve (Frankena et Pautler, 1984), (Teal et Berglund, 1987), (Dempsey, 1996) et (Schaller, 2007).

Les analyses démontrent que, comme prédit, le retrait du contrôle de la quantité incite de nouveaux chauffeurs et de nouvelles compagnies à joindre le marché. Toutefois, cette nouvelle offre se répartit de façon inégale sur le territoire en se concentrant à certains endroits clés assurant la

garantie d'avoir une course : aéroport, centre-ville, postes d'attente aux grands hôtels et autres lieux de courses assurées (Dempsey, 1996; Teal et Berglund, 1987). Les conséquences de ces nouveaux arrivants sur le marché sont multiples. D'abord, puisque cette augmentation de l'offre ne génère pas une augmentation de la demande, elle réduit le nombre de courses effectuées par chaque chauffeur et par conséquent, son salaire, le forçant ainsi à travailler de plus longues heures (Teal et Berglund, 1987). Ensuite, ces nouveaux arrivants, en réduisant l'accès à ces courses payantes et anciennement garanties aux taxis existants, viennent briser le fragile équilibre d'inter-financement qui permet aux taxis de desservir des zones moins denses et plus pauvres aux heures moins occupées (Dempsey, 1996). De plus, certaines villes ont aussi dérégulé les tarifs, dans l'objectif évident d'inciter une réduction des prix par la compétition. Toutefois, les compagnies et taxis existants, forcés d'opérer dans un marché saturé, en viennent plutôt à augmenter leur prix et à couper les coins ronds en termes de réparation et de maintien de la qualité des véhicules pour garantir leur revenu. Ces villes ont vu leur tarif augmenter de 29 % durant leur période de dérégulation (période variable entre 1979 et 1992) (Price Waterhouse, 1993). D'ailleurs, cette augmentation du nombre de taxis sur les routes risque de conduire à plusieurs externalités négatives, précisément une augmentation de la congestion et de la pollution dans les endroits déjà denses et congestionnés. Toutefois, cette théorie énoncée par Schreiber (1975) a été contestée à plusieurs reprises, notamment par Frankena et Pautler (1984) et les analyses empiriques de ces effets n'ont pas été très concluantes.

Se basant sur les travaux de ces auteurs, Harding *et al.* (2016) résument le raisonnement derrière le besoin de réguler le marché du taxi en trois points. Premièrement, le taxi est un produit de confiance (« credence good ») puisque le client n'est pas en mesure d'évaluer correctement la qualité, la longueur et le prix de la course à l'avance. Combiné au coût élevé pour trouver un autre taxi et à l'impossibilité pour un chauffeur unique d'influencer le prix du marché, cette problématique tire la qualité du service vers le bas. Deuxièmement, les imperfections du marché rendent son ouverture problématique pour les taxis existants et pour la qualité du service tel qu'indiqué au paragraphe précédent, notamment en suscitant une augmentation des prix plutôt qu'une diminution. Troisièmement, les prix sont très volatils puisque le marché du taxi est considéré comme ténu, avec peu de clients et d'offres au même endroit géographique, à l'exception des quartiers d'affaires centraux (« CBD »).

Ces particularités du marché du taxi et ces conséquences non conformes aux attentes de la théorie du libre marché amènent donc la majorité (17 sur 21) des villes ayant dérégulé cette industrie à réimplanter une régulation des entrées et des prix (Price Waterhouse, 1993). Les quatre villes n'ayant pas réimplanté de régulations ont en commun d'être de petites municipalités avec peu d'activités aéroportuaires. Les résultats empiriques de ces expériences et les analyses théoriques de la question démontrent le besoin de contrôler les entrées dans le marché du taxi, mais ne précisent pas les meilleures pratiques à adopter. Il est à noter que bien qu'elles ne soient pas présentées ici, des expériences de dérégulation ont aussi été étudiées en Europe (J. T. Bekken et Longva, 2003; J.-T. Bekken, 2003; ECMT, 2007; Marell et Westin, 2002; Toner, 1996). Des constats similaires sont tirés de ces recherches et à ces constats s'ajoutent d'autres conclusions intéressantes. Par exemple, une dérégulation des entrées peut fonctionner dans certaines situations, mais il est primordial de rehausser les normes de qualités pour les véhicules, les chauffeurs et les entreprises de taxi. Un contrôle plus sévère de la qualité vient créer de nouvelles barrières à l'entrée et permet ainsi d'éviter une saturation du marché par une trop grande quantité de nouveaux entrants.

2.1.2 Le contrôle des entrées par un système de permis

Parmi les trois axes de réglementation de l'industrie du taxi, qualité-quantité-tarifs, Schaller (2007) identifie la régulation des entrées (quantité) comme le cœur de la réglementation. Depuis les expériences de dérégulation des années 80, la quasi-totalité des grandes villes nord-américaines et européennes a préservé ou réinstauré une forme de régulation des entrées (Schaller, 2007). Par contre, plusieurs auteurs argumentent que l'analyse de la régulation des entrées doit être faite en distinguant les deux principaux types de marchés du taxi, soit le marché de répartition téléphonique et le marché des courses hélées et des postes d'attente (« walk-up markets ») (Dempsey, 1996; Schaller, 2007). Ainsi, Schaller (2007) avance que pour les raisons expliquées à la section 2.1.1, le marché du poste d'attente et des courses hélées performe mieux lorsque l'entrée est contrôlée. Il en va de même pour les villes présentant des marchés mixtes. Seules les villes dont les courses hélées et les postes d'attente représentent une très faible part de marché peuvent bien fonctionner dans un système d'entrées libres. Par ailleurs, un troisième type de marché qui n'existait pas à l'époque de ces analyses doit être considéré aujourd'hui, celui du marché de répartition par applications mobiles (Harding *et al.*, 2016). Il importe donc de pouvoir mesurer adéquatement la taille de chacun de ces marchés pour être en mesure de bien évaluer si la réglementation actuelle

des entrées à Montréal est adaptée au type de marché observé. Dans son mémoire, Lacombe (2016) estime que pour la partie centrale de Montréal (l'agglomération de taxi A-11, voir Figure 3.1), les courses hélées et commençant aux postes d'attente représentent entre 35 et 70 % des courses selon la période de la journée, et que sur l'ensemble de la journée, 11,7 % des courses débutent à un poste d'attente. À titre comparatif, Schaller (2007) indique que dans les cœurs denses de villes comme New York, San Francisco, Chicago et Las Vegas, où les courses hélées et celles débutant aux postes d'attente représentent plus de 70 % du marché, il demeure facile de trouver un taxi, et ce, malgré la restriction sur le nombre de permis autorisés à desservir ces zones.

Pour éviter qu'une ouverture du marché du taxi génère une prolifération de l'offre aux postes d'attente et aux aéroports et, inversement, pour s'assurer qu'une limitation du nombre de permis ne cause pas un déséquilibre de l'offre sur le territoire, réduisant grandement la qualité du service dans les zones moins denses, une combinaison de politiques est requise. En ce sens, Montréal ressemble aux cas de Los Angeles, Las Vegas, Miami, Chicago et New York, où des restrictions géographiques permettent de contrôler les accès aux marchés des postes d'attente et des courses hélées, et de préserver un service de répartition de qualité dans les zones excentrées moins denses (Schaller, 2007). Une question légitime à se poser est de savoir si ces limitations géographiques réduisent le taux d'occupation des véhicules en obligeant les chauffeurs effectuant des courses entre deux zones à revenir sans passagers. Il est donc pertinent de pouvoir calculer la quantité de courses interzones effectuées afin de mesurer l'impact sur le temps et la distance à vide qui découlent de l'existence de ces zones.

2.1.3 Classification des systèmes de régulation des entrées

Plusieurs auteurs ont élaboré une classification des systèmes de régulation des entrées (Shaw, Gilbert, Bishop et Pruitt, 1983), (Price Waterhouse, 1993) et (Schaller, 2007). C'est cette dernière, plus récente, qui est présentée ici. En se basant sur une analyse des réglementations en place dans 43 villes nord-américaines, Schaller classe les cadres de régulation des entrées selon une matrice deux par deux. Le Tableau 2.1 est une traduction libre de la Table 1 présentée à la page 494 (Schaller, 2007).

Tableau 2.1 : Classification des types de régulation des entrées dans le marché du taxi élaborée par Schaller.

Qualification des entrées	Contrôle des entrées	
	Sans limite du nombre de permis	Avec limite du nombre de permis
Qualifications pouvant être atteintes par des individus et des entreprises	Type A : Entrée libre	Type C : Système de permis ou licences
Qualifications pouvant être atteintes seulement par des entreprises	Type B : Entrée libre avec qualification par entreprise	Type D : Système de franchise et de certificats

Bien qu'il ne soit pas dans le bassin des systèmes analysés par Schaller, le système en place à Montréal, avec ses entrées limitées par un nombre fixe de permis de taxi et l'absence d'obligation pour ces derniers de s'associer à un intermédiaire en service, s'apparente à celui de type C. Les détails de la réglementation en place au Québec et à Montréal sont présentés au Chapitre 3. De plus, avec ses 4 500 taxis autorisés sur l'île de Montréal (Commission des Transports du Québec, 2017), Montréal se classe, selon les chiffres compilés par Schaller en 2007, en cinquième position des villes en importance en Amérique du Nord pour le nombre de taxis, derrière New York, Chicago, Washington D.C. et Toronto. Bien que les données de comparaison datent de plus de 10 ans, celles-ci présentent tout de même un indicateur de comparaison intéressant puisque le nombre de taxis est limité par un système de permis (à l'exception de Washington D.C.), et donc varie peu d'une année à l'autre. Le Tableau 2.2 reprend les nombres de permis tels qu'établis par Schaller (2007), en plus de Montréal, et le type de système de contrôle des entrées en place pour les huit plus grosses villes par nombre de taxis en Amérique du Nord.

Tableau 2.2 : Nombre de permis et type de régulation des entrées pour les 8 services de taxi en ordre d'importance en Amérique du Nord (Commission des Transports du Québec, 2017; Schaller, 2007)

Rang	Ville	Nombre de permis	Type
1	New York	13 000 (Medallion Cabs) 33 000 (Livery)	C B
2	Chicago	6 800	C
3	Washington D.C.	6 500	A
4	Toronto	4 950	C
5	Montréal	4 500	C
6	Los Angeles	2 300	D
7	Houston	2 250	C
8	Miami-Dade	2 040	C

Ainsi, la majorité de ces grandes villes utilisent un système de permis limitant les entrées, à l'exception de Washington D.C. qui permet la libre entrée et Los Angeles qui utilise un système de franchise. Dans ce système de franchise, tous les taxis doivent être associés à l'une des 9 franchises autorisées par la ville. Bien que tous les taxis soient autorisés à prendre des courses précommandées ou hélées partout dans la ville, les franchises doivent s'assurer de maintenir un niveau de service de qualité dans les zones principales dans lesquelles elles opèrent. Le nombre de taxis est autorisé par la ville, mais une franchise peut faire la demande pour de nouveaux permis si elle en démontre le besoin (LADOT, 2015). Du côté de New York, qui possède de loin le plus gros marché du taxi en Amérique du Nord, la réglementation présente un système mixte où les taxis équipés de « medallions » (taxis jaunes) sont autorisés uniquement à faire des courses hélées ou débutant à des postes d'attente. D'ailleurs, 94 % des courses effectuées par ces taxis débutent à Manhattan et aux aéroports de LaGuardia et JFK (NYC Taxi & Limousine Commission, 2014). Les autres véhicules (« livery » ou « Community Cars » et les « Black Cars ») doivent être associés à une station et peuvent uniquement desservir des courses précommandées. Pour ces véhicules, il n'y a pas de limite fixée par un système de permis et le tarif varie selon les compagnies, la qualité du service et les arrondissements (NYC Taxi & Limousine Commission, 2014). En 2012, la New York City Taxi and Limousine Commission établit un nouveau type de taxis, les « Boro Taxis » (vert) pour répondre au manque de taxis jaunes à l'extérieur de Manhattan. Ceux-ci sont autorisés à desservir des courses précommandées partout dans New York ainsi qu'à prendre des courses hélées et aux postes d'attente (sauf les aéroports) à l'extérieur de Manhattan. Leur nombre est limité

à 18 000 par un système de licence (NYC Taxi & Limousine Commission, 2014). De plus, New York effectue un contrôle de l'intensité d'utilisation de ses permis de type *medallion* (taxis jaunes). Les propriétaires de ces permis sont obligés de conduire leur taxi eux-mêmes un minimum de 180 quarts de travail de 9 heures par année. Cette obligation peut maintenant être partagée entre conducteurs ayant des parts dans le *medallion* et des conditions plus flexibles, 150 quarts de travail de 7 heures, s'appliquent aux chauffeurs de plus de 62 ans avec 10 ans d'expérience (New York City Taxi & Limousine Commission, 2011).

Dans une autre recherche effectuée deux ans plutôt, Schaller effectue d'ailleurs une régression linéaire du nombre de taxis dans 118 villes américaines dans l'objectif d'aider les autorités municipales à identifier le nombre de taxis à autoriser (Schaller, 2005). Son modèle identifie trois facteurs ayant un impact important sur l'estimation du nombre de taxis dans une ville : le nombre de travailleurs utilisant le métro comme mode de transport, le nombre de ménages sans voiture et le nombre de déplacements par taxi depuis le ou les aéroports de la ville. Il pourrait être intéressant d'appliquer ce modèle à Montréal afin d'évaluer si le nombre de permis actuellement autorisés correspond à ce qui est prédit par le modèle.

2.1.4 Point de vue économique

Dans un article largement cité, Cairns et Liston-Heyes (1996) utilisent un modèle mathématique simple pour réaffirmer que les conditions nécessaires à l'atteinte de la concurrence pure et parfaite sur le marché des courses hélées ne sont pas respectées. Ainsi, puisque les conditions pour atteindre l'équilibre optimal de ne pouvant être remplies, il est nécessaire d'adresser les imperfections du marché en introduisant certaines formes de régulation. Ainsi, la régulation des prix et des entrées permet de se rapprocher de la deuxième meilleure situation d'efficacité ou deuxième optimum. Ce deuxième optimum est mieux connu en économie sous le nom d'optimum de second rang (*Theory of the second best*) tel qu'élaborée par Lipsey et Lancaster (1956). Toutefois, ces auteurs avancent que de réguler les tarifs et les entrées seulement par un nombre de permis permet de se rapprocher de ce second optimum, mais pas de l'atteindre. Cairns et Liston-Heyes affirment donc que celui-ci pourrait être atteint seulement si l'intensité d'utilisation des permis (nombre d'heures d'utilisation) est aussi contrôlée, ce qui en 1996 était difficile à faire. Les avancées technologiques récentes en systèmes GPS embarqués permettent aujourd'hui un suivi plus précis de l'utilisation réelle des

permis. Des analyses de l'utilisation des permis de taxi pour Montréal sont présentées au Chapitre 6.

Plus récemment, Harding *et al.* (2016) revoient les arguments derrière la nécessité de réglementation dans l'industrie du taxi et vérifient si ceux-ci s'appliquent dans un nouveau marché, celui du « ridesourcing », où la répartition s'effectue par application mobile et où le prix varie selon la demande. Tout d'abord, ils avancent qu'en réduisant le coût d'entrée pour l'offre et les coûts de transaction pour la demande, et en permettant une évaluation à deux sens (chauffeurs et clients), les nouvelles entreprises de transport technologiques telles Uber viennent régler les problèmes associés au marché tenu généralement en place dans l'industrie du taxi. Ensuite, le problème du produit de confiance associé au taxi (l'impossibilité de juger de la qualité et du prix de la course avant de l'avoir complétée) est réglé par trois particularités des services de répartition par application mobile : (1) le système de cote des chauffeurs établi par l'évaluation après chaque course assure la qualité du service; (2) les différentes qualités du service offert permettent la présence d'une différenciation efficace sur le marché afin de soutenir la présence d'un service haut de gamme; et (3) un estimé précis du prix calculé à l'avance évite que des chauffeurs mal intentionnés ne gonflent les prix artificiellement.

L'arrivée de ce type d'entreprise a suscité énormément d'attention à travers le monde et a largement bouleversé les services de taxi et les réglementations en place. Il convient donc de faire un tour d'horizon de ce nouveau type de transport rémunéré de personnes.

2.2 Un marché ébranlé par les compétiteurs technologiques

La question de la dérégulation de l'industrie du taxi a refait surface à l'été 2010, lorsque Uber, une jeune entreprise californienne, a lancé son application mobile de transport sur demande à San Francisco (Chokkattu et Crook, 2014). En 2011, la plateforme est lancée dans plusieurs autres villes américaines, dont New York. En 2012, Uber rejoint l'Europe via Paris et Londres et l'année suivante, c'est l'Asie et l'Afrique qui voient arriver les services de cette entreprise technologique. Aujourd'hui présente dans plus de 600 villes à travers le monde (« Uber.com/Find a City », 2017), dont Montréal, Québec et Gatineau, Uber est la première des entreprises de transport technologiques (« Transportation Network Companies » ou « TNCs ») à avoir bousculé le marché du transport rémunéré de personnes par automobile. À ce jour, ce terme élaboré par les autorités

californiennes en 2013 regroupe une vingtaine d'entreprises offrant des services dits de « ridesourcing », c'est-à-dire la mise en relation via une application mobile d'un chauffeur d'un véhicule personnel et d'un client potentiel (Haider, 2015). Présentées comme un service technologique et non comme un service de transport de personnes, ces entreprises profitent d'un flou dans la réglementation existante lors de leur arrivée dans une nouvelle ville pour opérer aux limites de la légalité, forçant les gouvernements à revoir rapidement leur cadre réglementaire du transport rémunéré de personnes (Haider, 2015).

2.2.1 Types de services offerts par les TNCs

Bien qu'elle ne soit pas la seule entreprise à offrir des services de « ridesourcing », Uber est souvent la première à s'installer dans une nouvelle ville et par conséquent, ses opérations et les conséquences de celles-ci, principalement son service UberX, sont les plus documentées. Il importe de distinguer les services offerts par Uber, car ceux-ci n'entrent pas dans les mêmes catégories de réglementation. Le service original d'Uber, « UberBLACK », ainsi que ses services « UberSUV » et « UberTAXI » mettent en relation des chauffeurs professionnels, dotés d'une licence et conduisant des véhicules assurés commercialement avec des passagers potentiels via l'application mobile (Ngo, 2015). Cette première catégorie de services s'apparente donc à un intermédiaire en service de taxis ou de véhicules de luxe. La seconde catégorie est la plus controversée, il s'agit de ses services de « ridesourcing », soit la mise en relation d'un chauffeur non professionnel conduisant un véhicule personnel avec un client potentiel. Cette catégorie regroupe « UberX », « UberXL » et « UberSELECT/PLUS » (Ngo, 2015). Enfin, Uber offre aussi des services de mobilité partagée de type « microtransit » tel UberPOOL (Committee for Review of Innovative Urban Mobility Services - TRB et NASEM, 2016) mais ce type de service n'est pas offert à Montréal et n'est pas pertinent dans la présente section. L'entreprise Lyft, présente uniquement aux États-Unis, offre seulement des services de type « ridesourcing » et de type « *microtransit* » (Dough, 2016).

2.2.2 Un type de service qui ne cadre pas dans la réglementation du taxi traditionnel

L'incertitude sur le type de service offert par Uber lui permet de lancer ses opérations dans une ville où la régulation n'a pas encore été adaptée sans se soumettre aux trois axes de réglementation

en place dans l'industrie du taxi : le contrôle de la quantité, le contrôle de la qualité et le contrôle économique (Daus, 2012). D'un point de vue de la qualité, le flou dans les réglementations existantes permet aux propriétaires de véhicules personnels d'offrir des services Uber, sans se soumettre aux contrôles de qualité existants pour les taxis traditionnels. Similairement, ces chauffeurs sans permis de chauffeurs de taxi ne sont pas assujettis au même niveau de vérification des antécédents judiciaires et des aptitudes de conduite que les chauffeurs de taxi. En ce qui a trait au contrôle de la quantité, le modèle d'Uber ne limite pas le nombre de véhicules en service sur les routes et les autorités locales n'ont ni les outils réglementaires nécessaires ni la main d'œuvre, pour contrôler le nombre de véhicules Uber en activité. De plus, même une fois la réglementation adaptée aux TNCs, aucune des 20 villes américaines analysées par Beer, Brakewood, Rahman et Viscardi (2016) ne limite le nombre de véhicules autorisés. En ce qui concerne le contrôle économique, Uber et d'autres entreprises similaires utilisent leur propre formule de calcul des tarifs qui diffère de la tarification officielle pour les taxis mise en place par les autorités gouvernementales (Ngo, 2015). Ces entreprises utilisent aussi un système de contrôle dynamique des prix qui varient selon l'offre et la demande (Harding *et al.*, 2016). Ce système de « surcharge » a d'ailleurs été critiqué à de nombreuses reprises, particulièrement lors d'événements exceptionnels qui ont généré une forte demande et où les prix ont monté en flèche en raison d'une pénurie d'offre (jour de l'An, Hurricane Sandy, attentats, etc.) (Daus, 2012; Harding *et al.*, 2016).

2.2.3 Une documentation scientifique peu étoffée

Malgré les nombreux reportages et articles parus dans les médias de masse, il n'existe pas, dans la littérature scientifique, d'analyse empirique des impacts de ces nouvelles entreprises sur les réseaux et services de transports existants (Ngo, 2015) et peu d'articles font une revue détaillée des différentes approches de réglementation mises en place pour encadrer les TNCs (Beer *et al.*, 2016). Par contre, plusieurs rapports commandés par des administrations municipales présentent des revues et analyses de ces aspects importants. Au Canada, celui réalisé pour la ville de Vancouver par Victor Ngo de l'Université de la Colombie-Britannique (Ngo, 2015) est probablement le plus exhaustif à ce jour. Le rapport préparé pour Toronto par Haider (2015) est pour sa part beaucoup moins détaillé dans la revue des impacts et réglementations, s'intéressant davantage à la dérégulation des entrées comme façon d'ouvrir le marché des taxis aux entreprises de « ridesourcing » et aux externalités qui pourraient en découler. Dans son plus récent rapport, le

consultant et spécialiste américain en politique et réglementation du Taxi, Bruce Schaller, profite d'une disponibilité unique de données précises provenant des taxis et des TNCs dans la ville de New York pour évaluer les impacts de la croissance considérable de ces nouveaux services sur la congestion routière, les émissions de GES et les modes existants tels le transport collectif et le taxi traditionnel (Schaller, 2017). Il conclut qu'une croissance des déplacements qui se fait principalement au profit des services de « ridesourcing » et au détriment du transport collectif n'est pas soutenable principalement en raison des véhicules-kilomètres parcourus que cela ajoute à un réseau déjà congestionné. Des politiques appropriées de tarification et de gestion des voies publiques doivent donc être examinées pour contenir cette croissance.

2.2.4 Impacts potentiels

Dans son rapport, Ngo (2015) identifie cinq catégories d'impacts de l'arrivée des TNCs dans une ville : impacts sur l'industrie du taxi, impacts sur l'offre de service, impacts sur l'environnement tels que mesurés par la congestion, les véhicules-kilomètres parcourus et les émissions de GES, impacts sur les transports collectifs et impacts sur l'utilisation des véhicules personnels. Les impacts potentiels observés dans plusieurs villes sur l'industrie du taxi incluent des baisses de parts de marché conduisant à des baisses de revenus pour les chauffeurs et compagnies de taxi ainsi qu'une baisse de la valeur des permis de taxi (Ngo, 2015). Des chiffres précis basés sur des analyses rigoureuses des données sont plutôt rares et la valeur réelle de ces baisses varie grandement selon les villes et la provenance des données. Des données précises pour New York telles qu'analysées par Schaller (2017) indiquent toutefois une baisse considérable de l'achalandage du taxi traditionnel entre 2013 et 2016. Les impacts sur l'offre de service de transport sur de demande tendent à être positifs alors que les entreprises de TNCs offrent des temps attentes généralement moins élevés, une meilleure expérience clients et une meilleure desserte dans les zones de moins forte densité (Ngo, 2015) ainsi que l'amélioration de la qualité du service du taxi traditionnel en réponse à cette nouvelle compétition (Wallsten, 2015). Selon Ngo (2015), les impacts sur l'environnement sont plutôt incertains à ce jour et sont mesurés par les émissions, la congestion et les véhicules-kilomètres parcourus, et doivent prendre en compte la diminution potentielle de l'utilisation de l'automobile personnelle. Dans le cas de New York, Schaller (2017) conclut que l'importante demande induite par les TNCs a généré une augmentation nette de 600 millions de véhicules-kilomètres parcourus entre 2013 et 2016 sur les routes de New York et ce, en prenant en

compte la réduction des véhicules-kilomètres parcourues par les taxis traditionnels et la réduction des véhicules-kilomètres générés par l'utilisation de véhicules personnels. En somme, alors que la demande pour les services traditionnels de taxi a diminué, les véhicules-kilomètres parcourues par les services de taxis et les TNCs combinés est passé de 14 % à 19 % de l'ensemble du kilométrage parcouru entre 2013 et 2016 sur les routes de New York par tous les types de véhicules. Finalement, l'analyse des impacts sur les transports en commun vise à comprendre si ces nouveaux services de « ridesourcing » complètent ou remplacent des déplacements sur les réseaux de transports publics. Selon une étude de Rayle, Shaheen, Chan, Dai et Cervero (2014), ces nouveaux services de transport sur demande semblent à la fois compléter et remplacer le transport collectif dépendamment des lieux de la disponibilité des services de transport en commun.

Les impacts de l'arrivée des TNCs sont donc plus complexes que ceux liés à une dérégulation des entrées telle qu'elle fut expérimentée dans les années 80 dans le marché du taxi (Haider, 2015), et plus de données sont requises pour bien évaluer l'impact de ce nouveau type de mobilité sur l'environnement urbain et les marchés existants. Davantage de recherches et d'analyses empiriques sont aussi nécessaire pour évaluer les impacts des régulations mises en place pour encadrer ces services. En date de rédaction de ce mémoire, une seule étude s'est intéressée à ce dernier point. Beer (2016) compare la réglementation mise en place pour encadrer les TNCs dans une vingtaine de villes américaines, faisant une distinction claire entre la réglementation des chauffeurs et des véhicules et celle entourant les compagnies elles-mêmes.

2.2.5 Au Québec et à Montréal

Uber est la seule entreprise de « ridesourcing » offerte au Québec et à Montréal. Disponible à Montréal depuis octobre 2014 (Cloutier, 2014) et à Québec depuis février 2015 (Lemieux, 2015), le service UberX, comme dans beaucoup d'autres villes du monde a suscité une tornade médiatique. Des recherches sur les grands sites d'information québécois effectuées le 9 juin 2017 avec le mot clé « Uber » ont permis de recenser 1 520 articles sur le site de Radio-Canada, plus de 1 000 sur le site de La Presse, 393 sur le site du *Devoir*, 486 pour le *Journal de Montréal*, 352 sur TVA Nouvelles, et du côté anglophone, 2 331 pour *Montreal Gazette*. Les articles font principalement état du mécontentement de l'industrie du taxi et de leurs recours légaux face à Uber, de la saisie de véhicules pour transport illégal, des négociations entre Uber et le gouvernement pour encadrer son utilisation et des tarifs abusifs pour des courses effectuées au jour de l'An.

Le 18 février 2016, soit plus d'un an après l'arrivée du service UberX à Montréal, le gouvernement du Québec a ouvert une commission parlementaire sur l'industrie du taxi (Radio-Canada, 2016). Le site web du comité provincial de concertation et de développement de l'industrie du taxi relate la chronologie des événements et rebondissements entourant cette commission parlementaire (CPCDIT, 2016). À la suite de cette commission, le projet de loi 100 visant à modifier « diverses dispositions législatives concernant principalement les services de transport par taxi » est déposé par le ministre des Transports du Québec, Jacques Daoust, le 12 mai 2016 (Daoust, 2016). Dans sa première version, ce projet de loi assujettit les services d'Uber et de ses chauffeurs aux mêmes réglementations que les taxis traditionnels : des tarifs fixes, un système de permis pour les propriétaires de véhicules, un permis de conduire de taxi et une validation des antécédents des chauffeurs ainsi qu'un permis d'intermédiaire en service pour Uber. Le projet de loi sera finalement adopté le 10 juin 2016 après avoir été amendé pour permettre la tenue d'un projet pilote avec Uber dont l'encadrement diffère du taxi traditionnel. Une entente de principe sur ce projet pilote est conclue le 9 septembre 2016 pour une durée d'un an (Gouvernement du Québec, 2016). Selon cette entente, Uber doit obtenir un permis d'intermédiaire en service de taxi pour offrir des services de répartition uniquement par application mobile. Un contrôle de la quantité est imposé à Uber en fixant un plafond de 50 000 heures par semaine de connexion à l'application par l'ensemble des partenaires-chauffeurs. Cette limite se combine à une taxation de ses services sous forme de redevance par course effectuée versée au gouvernement par l'entreprise. La valeur de ces redevances dépend du nombre d'heures de connexion pour l'ensemble de ses partenaires-chauffeurs. Ainsi, la limite de 50 000 heures peut être dépassée par Uber qui devra alors verser des redevances plus élevées pour les courses effectuées en sus. Selon le Ministère, ce nombre d'heures est équivalent à 300 permis de propriétaire de taxi. Il est intéressant de constater que cet équivalent du nombre de permis tel que calculé par le Ministère équivaut à 166,7 heures d'utilisation par semaine. De plus, puisque la demande n'est pas constante dans le temps, il serait pertinent d'estimer, à l'aide du profil hebdomadaire moyen de l'offre de taxi, à combien de véhicules en période de pointe cette limite de 50 000 heures correspond. Ce projet impose aussi un encadrement serré des chauffeurs et de leur véhicule et la nécessité d'obtenir des assurances commerciales, s'approchant ainsi de la réglementation en vigueur pour le taxi. Du point de vue des prix, Uber peut préserver son système de tarification, mais doit toutefois limiter son système dynamique de

surcharge à 1,5 fois le prix courant et doit seulement être utilisé en cas de forces majeures (Gouvernement du Québec, 2016).

Plusieurs mois après l'entrée en vigueur de cette entente, les médias rapportent qu'il existe toujours un mécontentement au sein de l'industrie du taxi à l'égard de ce projet pilote (Corriveau, 2017; Noreau, 2017). Les trois principaux éléments soulevés sont les prix des permis qui n'ont pas retrouvé leur valeur pré-Uber, la baisse présumée des revenus des chauffeurs et la non-conformité de 40 % des partenaires-chauffeurs Uber contrôlés. *Le Devoir* rapporte en mars 2017 que 5 000 partenaires-chauffeurs Uber sont actifs au Québec (Ferraris, 2017).

2.3 Potentiel des données GPS et grandes thématiques d'analyse

Cela fait un peu plus de dix ans que les premières flottes de taxi équipées de dispositifs GPS sont apparues à travers le monde. Cette collecte à grande échelle des traces GPS (suivi dans le temps et dans l'espace d'un véhicule) est rapidement vue par de nombreux chercheurs comme une opportunité d'étudier en détail le transport par taxi et par conséquent, d'identifier des pistes d'amélioration de cette industrie et de mieux comprendre la demande pour ce mode. Plusieurs grands thèmes d'analyse et d'utilisation de ces données sont observables dans la littérature. Les sections suivantes résument ces thématiques et les principaux travaux et auteurs qui s'y sont intéressés.

2.3.1 Typologie de la demande de transport par taxi

Un angle important de recherche est de comprendre à travers des analyses descriptives où et quand les gens utilisent le taxi comme mode de transport. Les possibilités d'analyse dépendent très fortement de la disponibilité des données et c'est pourquoi certaines villes reviennent très souvent dans la littérature. Le cas de New York est fortement étudié, d'une part à cause de l'importance et de la taille de son système de transport par taxi, et d'autre part à cause de la disponibilité des données. En effet, la New York City Taxi and Limousine Commission (TLC) s'est dotée en 2007 d'un programme technologique, *Taxi Passenger Enhancement Program*, obligeant dès l'année suivante tous les taxis (jaunes, verts et autres véhicules « for-hire ») à être équipés d'un dispositif de collecte de données GPS et à sauvegarder ces données. Les données de courses sont disponibles en libreaccès depuis 2009 sur le site de la Commission (NYC Taxi & Limousine Commission, 2017). Celle-ci a d'ailleurs produit en 2014 le *Taxicab Fact Book* (NYC Taxi & Limousine

Commission, 2014) qui présente des statistiques agrégées sur le nombre de courses et la répartition spatiotemporelle de ces courses, mais aussi sur les revenus des chauffeurs, l'offre et la disponibilité des taxis dans le temps ainsi que différentes caractéristiques des passagers. Certains de ces indicateurs sont d'ailleurs comparés au chapitre 4 avec ceux calculés pour Montréal. Évidemment, beaucoup d'auteurs se sont aussi intéressés au potentiel que représentent ces riches données new-yorkaises. Hochmair (2015) et Savage et Vo (2013) présentent une analyse spatiotemporelle des déplacements par taxi à New York alors que Ferreira, Poco, Vo, Freire et Silva (2013) vont plus loin en développant une interface facile d'utilisation permettant à un non-spécialiste en données d'effectuer facilement des requêtes afin de visualiser dans le temps et l'espace la demande de taxi. De leur côté, Kamga, Yazici et Singhal (2013) analysent temporellement – selon l'heure de la journée (TOD) et le jour de la semaine (DOW) – plusieurs indicateurs tels le nombre de courses, la distance moyenne par course, le nombre de courses par chauffeur et le revenu horaire par chauffeur. Ils analysent aussi l'impact de certaines conditions météorologiques sur ces indicateurs. Ailleurs dans le monde, des analyses similaires ont été effectuées pour Berlin (Bischoff, Maciejewski et Sohr, 2015), Lisbonne (Veloso, Phithakkitnukoon et Bento, 2011), Beijing (Jian-cheng, Ya-qiao, Xiao-juan et Jian, 2009) et Montréal (Pele et Morency, 2014).

2.3.2 Modélisation de la demande

Les modèles de génération de la demande de déplacements sont un aspect important de la planification des transports. Ces modèles visent à estimer combien de déplacements débutent et se terminent dans chaque zone du territoire d'analyse. La disponibilité d'ensembles de données GPS historiques représente une opportunité de développer des modèles de génération pour le taxi. L'une des approches utilisées consiste à avoir recours à des régressions linéaires, connues pour leur simplicité et leur robustesse, afin d'identifier les variables ayant le plus d'impact sur la demande de déplacement par taxi. Ainsi, Yang et Gonzales (2014) utilisent une régression linéaire multiple pour modéliser les points d'origines et de destinations des courses de taxi à New York à différentes heures de la journée. Ils identifient six variables ayant un impact significatif sur la demande de déplacements par taxi : le temps d'accès au transport en commun (TAT), la population, le niveau d'éducation, l'âge, le revenu et le nombre total d'emplois. Parmi ces variables, le nombre d'emplois et le revenu ont le plus d'influence. Utilisant le même type de régression avec des variables similaires et les données de déplacement par taxi à Montréal, Lacombe et Morency (2015)

confirment leur importance dans la prévision de la demande de taxi et identifient pour leur part le revenu et la proportion de gens âgés entre 20 et 30 ans comme facteurs principaux. Avançant que la demande de déplacement est très sensible à la forme urbaine, Qian et Ukkusuri (2015) utilisent une régression géographiquement pondérée (GWR) pour modéliser la demande de taxi pour les jours de semaine et de fin de semaine. Leurs résultats démontrent que leur modèle performe mieux que les régressions linéaires pour expliquer la variation de la demande. À titre d'exemple, ils indiquent que le coefficient de la variable du revenu moyen peut changer de signe selon la localisation géographique.

2.3.3 À la recherche du prochain passager

Dans le marché des postes d'attente et des courses hélées, la recherche de passagers par le chauffeur est un enjeu important. Cherchant à réduire son temps et sa distance à vide, un chauffeur a tout intérêt à connaître les lieux ou trajets où il est susceptible de trouver des clients rapidement afin de maximiser son revenu. Une autre approche récurrente dans la littérature consiste donc à utiliser des outils de fouilles de données et d'apprentissage automatique afin d'identifier, en fonction de l'heure de la journée, les zones offrant le plus grand potentiel de demande. Une répartition optimisée de l'offre en fonction de la demande peut permettre aux chauffeurs de maximiser leur revenu en plus de réduire le temps d'attente pour les passagers. Par exemple, Chang, Tai, Chen, Hsu et Kuo (2008) évaluent trois algorithmes de classification spatiale (« spatial clustering ») pour développer un outil en temps réel de suggestion des points chauds (« hot-spot ») de demande les plus proches en prenant en compte la position du véhicule, l'heure de la journée, le jour de la semaine, la situation météo et un ensemble historique de points d'origine des courses à Taipei. Ayant le même objectif d'optimisation de l'offre et de la demande, Lee, Shin et Park (2008) utilisent un procédé en deux étapes, identifiant d'abord avec l'algorithme de classification des K-moyennes les plus importants groupements spatiaux de demandes avant d'appliquer un filtre temporel pour créer des recommandations de points chauds variables selon l'heure de la journée. Finalement, sans utiliser d'algorithmes de classification spatiaux, H. Tang, Kerber, Huang et Guibas (2013) modélisent la problématique de trouver le prochain passager comme un processus de décision markovien (MDP) qu'ils calibrent en utilisant un mois de traces GPS de 1 000 taxis à Beijing. Ainsi, leur modèle vise à recommander aux chauffeurs quelles routes emprunter afin de maximiser leur chance de trouver rapidement leur prochain client donc d'augmenter leur revenu.

Si ces méthodes présentent des avantages intéressants, les chauffeurs d'expérience se baseront sur leurs connaissances pour identifier les secteurs de la ville où leurs chances de trouver leur prochain client sont les plus élevées. Ainsi, en plus d'analyser les données historiques, il serait donc pertinent d'analyser les comportements dans le temps et dans l'espace des meilleurs chauffeurs afin d'évaluer s'ils ont des caractéristiques communes.

2.3.4 Analyses du comportement des chauffeurs

Qu'est-ce qui distingue un chauffeur de taxi performant de ses collègues qui le sont moins ? C'est la question à laquelle tentent de répondre plusieurs auteurs. Les premiers à avoir utilisé les données GPS pour étudier cette question sont probablement L. Liu, Andris et Ratti (2010). Se basant sur un an de données GPS et de courses collectées par 3 000 taxis à Shenzhen, en Chine, ils déterminent d'abord que la distribution des revenus suit une loi normale. Ils identifient ensuite les choix opérationnels des meilleurs chauffeurs, classés par revenu, avec ceux des chauffeurs ordinaires. Le choix général du quartier mais aussi le choix selon l'heure de la journée des meilleurs quartiers se révèle être un facteur commun aux chauffeurs les plus performants. Dans un contexte où le tarif dépend uniquement de la distance parcourue et non de la durée, ces super chauffeurs trouvent le juste équilibre du temps à passer dans des quartiers congestionnés à forte demande et du temps à passer dans des quartiers moins congestionnés à plus faible demande. Ces choix et leurs connaissances des conditions routières permettent à ces chauffeurs d'effectuer des courses de plus grandes distances dans un temps moindre en plus de réduire drastiquement leur temps et distance à vide. Plus récemment, L. Tang, Sun, Kan, Ren et Cheng (2017) présentent une approche pour évaluer la performance et l'efficacité des chauffeurs qui tient compte du revenu généré, mais aussi du coût du déplacement à vide. Pour leur part, Li *et al.* (2011) se sont plutôt intéressés aux stratégies de recherche du futur client adoptées par les meilleurs chauffeurs après avoir fini une course. Ainsi, selon l'heure de la journée et la localisation, les auteurs vérifient deux catégories de stratégies : attendre à un poste d'attente ou partir à la « chasse » aux clients et rester dans la même région ou retourner vers une zone plus connue.

2.3.5 Identifications des données erronées

Un jalon important dans le traitement de très larges quantités de données GPS est l'identification des données erronées, que ce soit des points GPS aberrants ou des courses improbables.

Malheureusement, très peu de littérature existe sur les méthodes de détection des erreurs dans les données GPS et encore moins sur celles collectées par les systèmes à bord des taxis (Zheng, Rasouli et Timmermans, 2014). La tâche est d'autant plus complexe lorsqu'il s'agit de combiner des données provenant de systèmes différents (Wang, Zhu, He, Yue et Li, 2011), comme c'est le cas dans le présent mémoire. Du côté des points GPS, les erreurs sont principalement attribuables à l'équipement utilisé et à la communication déficiente avec les satellites. Ainsi, Wang *et al.* (2011) identifient des pistes pour détecter les points GPS aberrants en analysant plusieurs distributions statistiques de trois jeux différents de données de taxi en Chine. Bien que ce ne soit pas spécifique aux données de taxi, d'autres auteurs utilisent des algorithmes basés sur un modèle de Markov caché (HMM) afin d'identifier correctement les routes empruntées par une trace GPS (traitement de « map matching ») (Newson et Krumm, 2009; Pink et Hummel, 2008).

Du côté des courses, les erreurs humaines peuvent s'ajouter à l'équation, notamment lorsque le début et la fin d'une course dépendent de la manipulation d'un appareil par le chauffeur. Zhang (2012) identifie quatre types de méthode pour filtrer les courses incohérentes :

- utilisation de valeurs seuils et restrictions géographiques propres au contexte analysé ;
- utilisation de valeurs seuils basées sur des distributions ;
- validation des traces et points GPS sur le réseau de rue (« map-matching ») ;
- en l'absence de traces GPS, calcul des chemins les plus courts.

À titre d'exemple du premier type, Veloso *et al.* (2011) utilisent une distance minimale de course de 200 m et une distance maximale de 30 km. Aucune justification n'est mentionnée pour le seuil minimal et le seuil maximal est justifié en indiquant qu'un déplacement d'une extrémité de la ville à l'autre est d'environ 22 km. Enfin, Zheng *et al.* (2014) se basent sur une combinaison de quatre critères pour filtrer les courses : (1) la précision du signal des données GPS (n'est utilisable que si cette information est disponible), (2) une incohérence entre la vitesse instantanée du véhicule et son mouvement (ex : vitesse = 0 mais mouvement \neq 0), (3) la vitesse moyenne de la course supérieure à la vitesse légale permise et (4) l'incohérence entre la distance calculée selon les données GPS et la distance sur carte.

2.3.6 Analyses des données montréalaises

Une première analyse descriptive de la demande de taxi à Montréal a été effectuée par Pele et Morency (2014) à l'aide des données de la flotte de véhicules de Taxi Diamond. Ce premier regard sur les données montréalaises a permis de comprendre l'importance d'établir des indicateurs clairs de suivi de l'industrie afin de mieux définir le rôle du taxi dans la mobilité des Montréalais. Par la suite, le mémoire de Lacombe (2016) dresse, toujours à l'aide des données de Taxi Diamond, un portrait beaucoup plus détaillé des déplacements par taxi à Montréal, notamment par l'établissement d'une liste précise d'indicateurs de performance et de suivi de l'industrie. Il catégorise ces indicateurs selon l'objet analysé, soit la course, le taxi (véhicule), le chauffeur, les zones desservies et le client. Il s'intéresse aussi à la modélisation de la demande en développant un modèle de génération des courses de taxi. Son modèle s'appuie sur une régression linéaire des points d'origine et une régression des points de destination au niveau géographique des secteurs de recensement et à l'échelle temporelle de la journée, en se basant sur des variables démographiques, d'utilisation du sol, de conditions météorologiques et de temps d'accès au transport collectif. Bien que son modèle n'explique qu'une faible partie de la variabilité de la demande, celui-ci permet tout de même d'identifier les variables ayant un impact significatif sur la demande de déplacements par taxi. Elle identifie notamment que les jeunes de 20 à 29 ans, les revenus élevés, la présence de zone de bureaux et de commerces ainsi qu'un faible temps d'accès au transport en commun influencent positivement le nombre de courses à l'origine ou se destinant à un secteur. Les contributions du travail de Lacombe sont significatives dans la compréhension du rôle du taxi dans la mobilité des Montréalais et le présent mémoire vise à approfondir ces connaissances en proposant de nouveaux indicateurs et en intégrant des données provenant de plusieurs intermédiaires.

2.4 Indicateurs d'offre et de demande

L'un des objectifs principaux de ce mémoire est d'élaborer un tableau de bord interactif permettant d'assurer le suivi des indicateurs d'offre et de demande de déplacements par taxi. Une première méthode de classification de ces indicateurs basée sur un seul intermédiaire en service a déjà été élaborée par Lacombe (2016). Comme le travail effectué par Lacombe sert de base à l'élaboration du tableau de bord présenté au Chapitre 4, il convient d'en présenter les faits saillants. Tel qu'indiqué à la section précédente, Lacombe classe les indicateurs retrouvés dans la littérature selon l'objet analysé, soit la course, le taxi (véhicule), le chauffeur, les zones desservies et le client.

Le Tableau 2.3 reprend la liste des indicateurs identifiés par Lacombe (2016) dans la littérature, ceux calculés dans son mémoire et ceux identifiés comme pertinents mais non calculés. Sont ajoutés à ces indicateurs de nouveaux indicateurs suggérés et présentés dans ce présent mémoire.

Tableau 2.3 : Liste des indicateurs de l'offre et de la demande de taxi identifiés par Lacombe 2016, trouvés dans la littérature seulement ou ajoutés dans le cadre du présent mémoire

OBJET	INDICATEURS	SOURCE/STATUT
Course	Carte de chaleur des origines et destinations	Calculé par Lacombe
	Nombre d'origines et de destinations	Calculé par Lacombe
	Nombre de courses	Calculé par Lacombe
	Nombre et proportion de courses par type (commandées/ hélées/débutant à un poste d'attente)	Calculé par Lacombe
	Distance et durée des courses	Calculé par Lacombe
	Vitesse moyenne des courses	Identifié par Lacombe
	Temps d'attente des clients	Identifié par Lacombe
	Nombre de passagers par course	Littérature
Taxi (ou véhicule)	Distance parcourue et durée en service par taxi	Calculé par Lacombe
	Distance et durée à vide par taxi	Calculé par Lacombe
	Nombre de courses	Calculé par Lacombe
	Nombre de chauffeurs par taxi	Calculé par Lacombe
	Taux d'occupation	Calculé par Lacombe
	Temps en statut disponible par taxi	Nouveau
	Nombre de taxis	Calculé par Lacombe
	Proportion de taxis disponibles	Calculé par Lacombe
Chauffeur	Nombre total de chauffeurs	Calculé par Lacombe
	Temps travaillé	Calculé par Lacombe
	Nombre de véhicules utilisés par chauffeur	Nouveau
	Début, fin et durée des quarts de travail	Calculé par Lacombe
	Nombre de courses	Calculé par Lacombe
	Distance parcourue par quart de travail	Calculé par Lacombe
	Nombre de postes d'attente visités	Identifié par Lacombe
	Revenu ou profit	Littérature
	Nombre de courses intra et interzones	Nouveau
	Étude spécifique d'une zone (ex. : aéroport)	Littérature

Tableau 2.3 : Liste des indicateurs de l'offre et de la demande de taxi identifiés par Lacombe 2016, trouvés dans la littérature seulement ou ajoutés dans le cadre du présent mémoire (suite)

Poste d'attente	Nombre de taxis visitant un poste d'attente	Nouveau
	Nombre de chauffeurs visitant un poste d'attente	Identifié par Lacombe
	Temps passé aux postes d'attente par les taxis	Identifié par Lacombe
	Nombre de courses débutant à un poste d'attente	Calculé par Lacombe
	Distance et durée pour se rendre au client par poste	Identifié par Lacombe
	Nombre de résidents à distance de marche d'un poste d'attente	Ajout
Client	Distance de marche entre l'origine et le centre du lieu de concentration de l'offre le plus proche	Littérature
	Caractéristiques des clients (âge, sexe, etc.)	Littérature
	Nombre de déplacements hebdomadaires/mensuels effectués par taxi	Nouveau

Les indicateurs identifiés comme uniquement présents dans la littérature sont réputés ne pas être calculables avec les données disponibles pour Montréal. Par exemple, tout ce qui touche aux caractéristiques des clients découle d'enquêtes auprès de la clientèle menées ailleurs. Le taux d'occupation des véhicules (nombre de clients/par course) est mesuré dans certaines villes (notamment New York), mais est impossible à identifier ici.

Les indicateurs des objets courses et clients sont des indicateurs de demande alors que les indicateurs liés aux objets chauffeurs et véhicules sont considérés des indicateurs descriptifs de l'offre. La majorité de ces indicateurs peuvent être estimés à plusieurs échelles spatiales et temporelles. Ainsi, Lacombe (2016) segmente ces indicateurs selon leur niveau d'estimation et le niveau d'analyse. Cette segmentation est présentée au Tableau 2.4 tiré de son mémoire.

Tableau 2.4 : Classification des indicateurs de taxi élaborée par Lacombe (2016)

NIVEAU D'ESTIMATION	Forme de visualisation	X	Type d'indicateurs	X	Objet de l'étude
	1. Statistique descriptive		1. Offre		1. Chauffeur
	2. Distribution fréquentielle		2. Demande		2. Taxi
	3. Répartition temporelle				3. Course
	4. Carte				4. Poste d'attente
NIVEAU D'ANALYSE	Période	X	Zone		
	1. Heure/Groupe d'heures		1. Secteur		
	2. Jour		2. Agglomération		
	3. Semaine		3. Île de Montréal		
	4. Mois				
	5. Saison				
	6. Année				

Les principales périodes temporelles analysées par Lacombe sont le groupe d'heures, le jour, la semaine et la saison. Au niveau spatial, Lacombe s'est limitée à l'agglomération A-11 et utilise les secteurs de recensement pour des visualisations plus fines de l'offre et de la demande.

CHAPITRE 3 MISE EN CONTEXTE – LE TAXI AU QUÉBEC ET À MONTRÉAL

Le présent mémoire s'intéresse à un domaine très spécifique, celui du taxi, dans un contexte précis : le taxi sur l'île de Montréal. Il importe donc de donner au lecteur tous les outils nécessaires à la compréhension des analyses et des enjeux de ce domaine d'étude. Cette mise en contexte présente la situation réglementaire du taxi au Québec et les particularités qui s'appliquent au contexte montréalais. Effectivement, puisque ce mémoire présente des analyses du taxi à Montréal, il importe de présenter la ville, son réseau et son offre de transport; les modes de transport utilisés par ses habitants et le fonctionnement de l'industrie du taxi sur son territoire.

3.1 Règlementation de l'industrie du taxi au Québec et à Montréal

Au Québec, le transport rémunéré de personnes est régi par la *Loi concernant les services de transport par taxi* ainsi que par le *Règlement sur les services de transport par taxi*. La loi identifie quatre intervenants principaux impliqués dans l'encadrement du service de transport par taxi (CTQ, 2017). Le premier intervenant - le Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports (MTMDDET) - est responsable du cadre législatif, des programmes et politiques en lien avec l'industrie; de l'établissement et de la modification des agglomérations de taxi et de la fixation du nombre maximal de permis de propriétaire de taxi par agglomération. Le deuxième intervenant, la Commission des transports du Québec (CTQ), est responsable de l'application de la loi et du règlement régissant le transport rémunéré de personnes; de la délivrance des permis de propriétaire et des permis d'intermédiaire en service et de la fixation des tarifs. Le troisième intervenant, la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ), est responsable de l'immatriculation des véhicules et de tout ce qui touche aux permis de chauffeur de taxi. Finalement, à Montréal, le Bureau du taxi de Montréal (BTM), établi dans sa forme actuelle depuis le 1^{er} janvier 2014, est responsable du contrôle de conformité et de l'application de la loi et du règlement de transport par taxi sur le territoire de l'île de Montréal. Il détient aussi des pouvoirs délégués par la SAAQ de délivrance des permis de chauffeur et d'immatriculation. Les objectifs de l'encadrement du transport rémunéré de personnes sont « d'accroître la sécurité des usagers et d'améliorer la qualité des services offerts à la clientèle » (Gouvernement du Québec, 2017b).

3.1.1 Contrôle de la quantité

Le cadre réglementaire québécois prévoit que, pour offrir un transport rémunéré de personnes par automobile, communément appelé transport par taxi, une personne doit y être autorisée par un permis de propriétaire de taxi (« permis de taxi ») délivré par la Commission des transports du Québec. Ces permis doivent en tout temps être rattachés à un seul véhicule sauf dans le cas des véhicules électriques, qui bénéficient d'un accommodement spécial permettant au propriétaire de continuer ses opérations pendant la recharge. Les permis délivrés depuis le 15 novembre 2000 sont valables pour une période 5 ans. Ils ne peuvent être ni cédés ni transférés et ne peuvent pas être renouvelés à la fin des cinq années d'opération (Gouvernement du Québec, 2017a). Le système en place fonctionne par un système de zone ou agglomération de taxi. La province est découpée géographiquement en 330 agglomérations de taxi de taille variable et chaque permis de propriétaire est associé à l'une des de ces agglomérations. En excluant les permis de limousine, il existe deux types de permis de propriétaire de taxi. Le premier type est un permis régulier. Le détenteur de ce type de permis peut desservir l'agglomération indiquée, à laquelle il est rattaché, ainsi que tout autre territoire à condition que le point d'origine ou de destination de la course soit sur le territoire identifié par le permis. À Montréal, ce règlement est applicable seulement aux courses commandées par téléphone ou par un autre mode de répartition via un intermédiaire en service et ne s'applique pas aux courses hélées sur la rue. En effet, celles-ci doivent absolument avoir comme point d'origine l'agglomération autorisée sur le permis de propriétaire. Le deuxième type est un permis restreint qui est associé à un véhicule équipé pour accommoder des personnes à mobilité réduite. À Montréal, ce type de permis permet de prendre et de déposer des clients de courses précommandées sur tout le territoire de l'Île, et ce, indépendamment de l'agglomération à laquelle le permis est associé (Ville de Montréal, 2017). Toutefois, il n'autorise pas la prise de client pour des courses hélées.

De plus, comme d'autres villes à travers le monde, certaines réglementations spéciales entourent les aéroports de Montréal et de Québec. Les détails de la réglementation en vigueur pour l'Aéroport de Montréal sont présentés à la section 3.1.5.

En plus du permis de propriétaire, pour conduire un taxi, un chauffeur doit posséder un permis de classe 4C de chauffeur de taxi ou de limousine délivré par la Société de l'assurance automobile du Québec ou par l'autorité municipale autorisée, tel le Bureau du taxi de Montréal. Ce permis donne

le droit au chauffeur de conduire son propre véhicule rattaché à un permis de propriétaire ou un véhicule loué à un propriétaire selon les conditions d'un contrat de travail entre les deux parties.

En date de la rédaction du mémoire, la Commission des transports du Québec indique que plus de 8000 permis de propriétaire de taxi sont en activité, dont environ 4500 dans les trois agglomérations de l'Île de Montréal A-05, A-11 et A-12. La Figure 3.1 présente la carte de l'île de Montréal, les délimitations des trois agglomérations de taxi et le nombre total de permis (restreints et réguliers) en activité dans celles-ci en date du 31 octobre 2016. Elle indique aussi la localisation de la zone d'exclusion de l'Aéroport de Montréal.

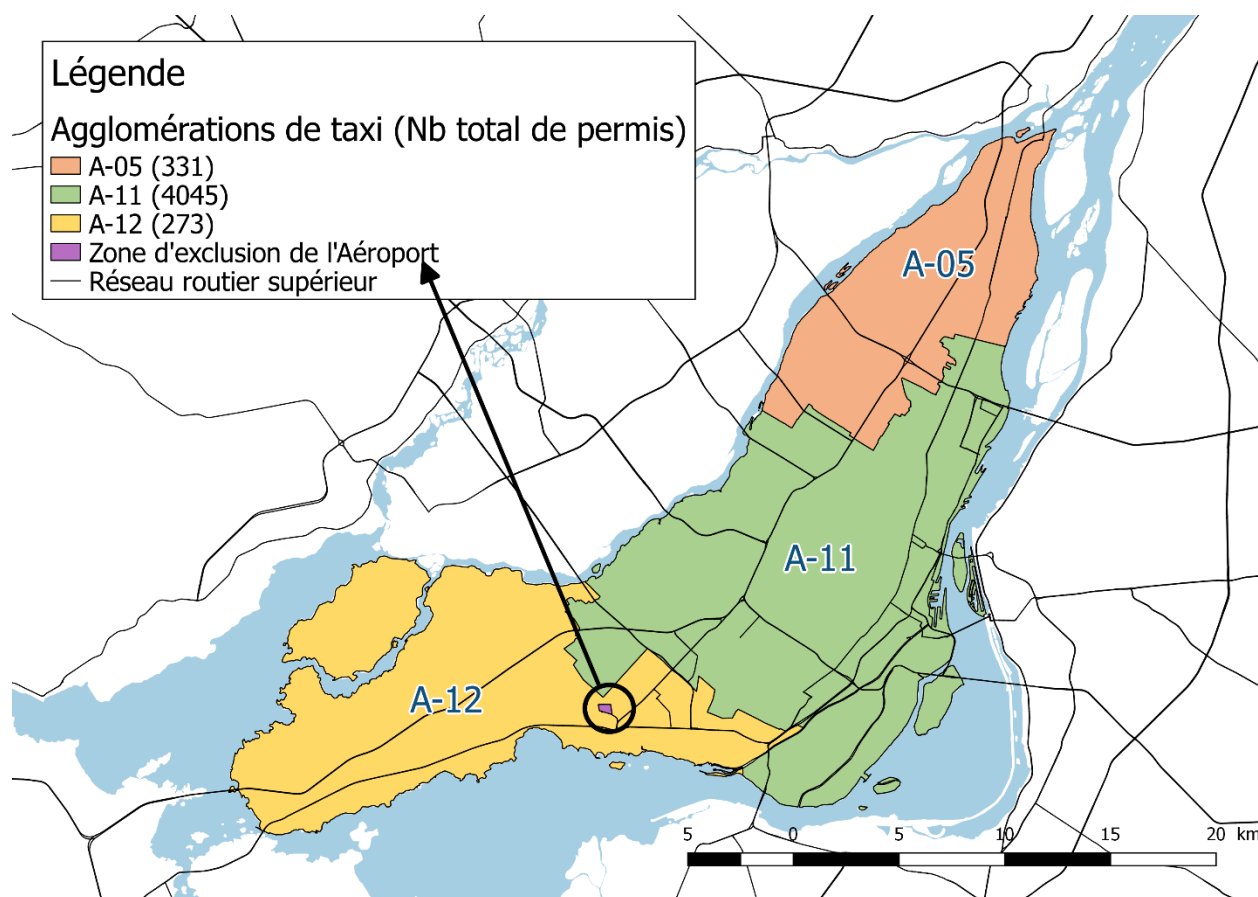


Figure 3.1 : Carte des agglomérations de taxi de Montréal

3.1.2 Contrôle de la qualité

Conformément à la loi, le contrôle de la qualité du service s'effectue sur le plan du chauffeur et du véhicule. Ainsi, le contrôle des aptitudes du chauffeur et de ses antécédents judiciaires se fait lors de la délivrance du permis de chauffeur par la SAAQ ou par le BTM. La loi est écrite de façon à

prévenir que des individus présentant un risque pour le public puissent effectuer du transport rémunéré de personne. Pour le contrôle de la qualité du véhicule, la loi indique un ensemble de règles concernant l'âge, la taille, la fréquence d'inspection et l'état général du véhicule qui doivent être respectées. Le Bureau du taxi de Montréal applique une réglementation légèrement plus sévère pour les véhicules sous sa juridiction.

3.1.3 Contrôle économique

Le contrôle économique est assuré par les tarifs fixés par la Commission des transports du Québec. Inspiré des meilleures pratiques en Amérique du Nord, le mécanisme de fixation des prix mis en place par la Commission en 2013 se base sur *l'Indice du coût du taxi*, un indicateur qui s'appuie sur dix indicateurs du coût d'exploitation d'un taxi compilés par Statistique Canada (Gouvernement du Québec, 2017c). Conformément à la littérature, cette méthode permet un processus qui est stable et transparent, et qui assure à l'industrie une tarification juste et équitable. Ainsi, à l'exception des courses à l'origine des aéroports de Montréal et de Québec, le tarif pour une course régulière de taxi est uniformisé à travers la province selon ce mécanisme et comporte trois composantes : le prix fixe au départ, le prix par kilomètre parcouru et le prix par minute d'attente. À l'exception de 128 agglomérations regroupant principalement des petites municipalités, tous les taxis réguliers doivent être munis d'un taximètre réglementaire permettant le calcul du prix total.

La formule suivante permet de calculer le prix total d'une course de taxi (CTQ, 2012):

$$\begin{aligned} \text{Prix total} = & 3,45 \$ \text{ au démarrage du taximètre} + 1,70 \$ \text{ par kilomètre parcouru} \\ & + 0,63 \$ \text{ par minute d'attente} \end{aligned}$$

Cette combinaison de tarification basée sur le temps et la distance oblige l'existence d'une vitesse de transition où le calcul passe de la distance au temps et vice-versa. Établie par une formule précise, cette vitesse de transition est fixée, selon les tarifs actuels, à 22,38 km/h. Ainsi, en dessous de cette vitesse, le tarif par minute d'attente est appliqué, tandis qu'au-dessus de celle-ci, le tarif kilométrique prend le relais. Bien que ce ne soit pas indiqué explicitement sur le site de la CTQ, la vitesse calculée par le taximètre semble être la vitesse de l'odomètre, c'est-à-dire la vitesse indirectement basée sur les tours des roues motrices du véhicule. En effet, le site mentionne que les détenteurs d'un permis de propriétaire de taxi ont la responsabilité de faire valider leur taximètre

après un changement de la dimension des pneus ou un changement de la transmission du véhicule (CTQ, 2012).

3.1.4 Intermédiaires en service

Au Québec, les entreprises de taxi sont appelées des intermédiaires en service de taxi. Contrairement à d'autres villes, les intermédiaires en service ne possèdent pas de véhicules. Ils offrent plutôt aux détenteurs de permis de propriétaire de taxi et de permis de chauffeur de taxi des services de publicité et de répartition de demandes de service. De plus, les détenteurs de permis de propriétaire de taxi ne sont pas dans l'obligation de s'affilier à un intermédiaire en service de taxi. À Montréal, environ 1400 détenteurs de permis de propriétaire de taxi ne font pas affaire avec un intermédiaire et sont donc considérés comme des « indépendants » (Bureau du taxi de Montréal, 2017a).

Un intermédiaire en service nécessite un permis d'intermédiaire en service délivré par la CTQ pour une agglomération donnée, et ce, pour une période maximale de cinq ans (un an pour Montréal). Ce permis ne peut être cédé ou transféré, mais celui-ci peut toutefois être renouvelé à l'échéance des cinq années (à la fin de l'année pour Montréal). Pour être autorisé à obtenir ou à renouveler son permis, un intermédiaire en service doit avoir au minimum 25 membres. En date de rédaction du mémoire, 19 intermédiaires en service de taxi régulier étaient autorisés à offrir des services sur l'île de Montréal : 2 dans la zone A-05, 2 dans la zone A-12 et 16 dans la zone A-11 (Bureau du taxi de Montréal, 2017b). Un seul intermédiaire est autorisé à desservir deux agglomérations, soit Taxi Hochelaga, qui possède un permis A-05 et A-11. L'entreprise Taxi Diamond dessert aussi deux agglomérations, A-11 et A-12, mais sous deux noms différents, respectivement Taxi Diamond et Diamond de l'Ouest.

3.1.5 Règlementation du transport par taxi à l'Aéroport de Montréal

Le territoire de l'Aéroport Pierre-Elliott-Trudeau est considéré comme une zone d'exception par la Commission des transports du Québec du point de vue des permis et des tarifs. En effet, si n'importe quel permis de propriétaire de taxi, indépendamment de son agglomération, est autorisé à déposer un client à l'aéroport au tarif régulier, des restrictions existent toutefois sur la prise de clients sur le territoire de l'Aéroport et sur les tarifs qui s'y appliquent. Pour être autorisé à prendre un client sur le territoire de l'Aéroport de Montréal, un taxi doit être titulaire d'un Permis de

« Taxi » d'Aéroport. Ce type de permis est octroyé aux détenteurs d'un permis de propriétaire de taxi des agglomérations A-05, A-11 et A-12 ayant gagné le tirage annuel effectué par les autorités de l'Aéroport. Le dernier tirage a eu lieu le 2 septembre 2015 pour une période de validité du permis allant du 15 novembre 2015 au 14 novembre 2016 (ADM, 2015). Toutefois, ces permis sont toujours en vigueur en date de rédaction de ce mémoire (été 2017) puisque l'Aéroport de Montréal a annoncé vouloir revoir la gestion du service de taxi sur son territoire et a, par le fait même, annulé le tirage devant avoir lieu en automne 2016 (Marchal, 2016). Puisque le nouveau système n'a toujours pas été dévoilé et que les données utilisées pour les analyses datent de 2016, la réglementation en vigueur en 2016 est présentée.

Ainsi, 310 permis de taxi d'aéroport pour des taxis réguliers et 15 permis de transport adapté (permis restreints) sont issus à la suite de ce tirage. La répartition des permis d'aéroport réguliers selon les agglomérations de l'île de Montréal est présentée au Tableau 3.1.

Tableau 3.1 : Répartition des 310 permis de « taxi » d'Aéroport réguliers selon les trois agglomérations de taxi de l'île de Montréal

Agglomération	A-05	A-11	A-12
Nombre de permis émis	41	217	52

De plus, ces permis sont relativement coûteux puisque des redevances de 3600 \$ plus taxes doivent être payées par les gagnants du tirage auprès de l'Aéroport de Montréal afin qu'ils se prévalent du droit d'utilisation de ces permis.

D'un point de vue économique, deux conditions particulières s'appliquent au tarif des courses de taxi ayant comme point d'origine le territoire de l'Aéroport. Les courses entre la zone d'exclusion de l'Aéroport et la zone du centre-ville (Figure 3.2) bénéficient d'un tarif spécial fixe à 40\$ dans les deux directions. De plus, toutes les courses à l'origine de l'aéroport et se destinant à l'extérieur de cette zone sont assujetties à un tarif minimal de 17\$, c'est-à-dire que la tarification régulière au compteur s'applique, mais que toute course dont le montant n'atteindrait pas 17\$ est ramenée à ce montant.

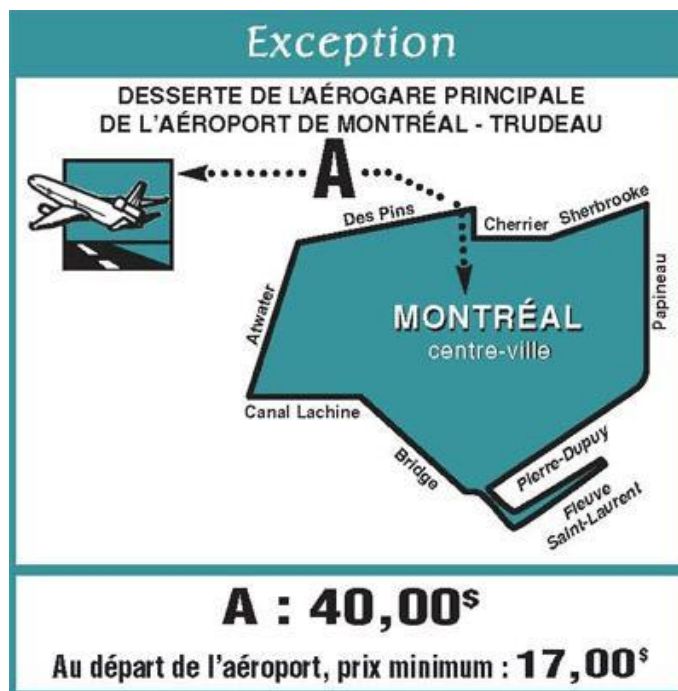


Figure 3.2 : Autocollant explicatif des prix des courses à l'origine de l'Aéroport de Montréal
(CTQ, 2012)

La Figure 3.3 présente la zone restreinte officielle de l'Aéroport de Montréal. Elle indique aussi la zone restreinte étendue qu'il est suggéré d'utiliser afin d'identifier les courses à l'origine de l'aéroport. Cette zone étendue permet de prendre en compte la réalité des données GPS (pertes de signal et manipulation du dispositif à bord par le chauffeur) et d'inclure ainsi des courses ayant probablement débuté dans la zone restreinte officielle, mais dont l'activation dans les données s'est opérée plus tard. Ces courses sont encerclées en jaune sur la carte.

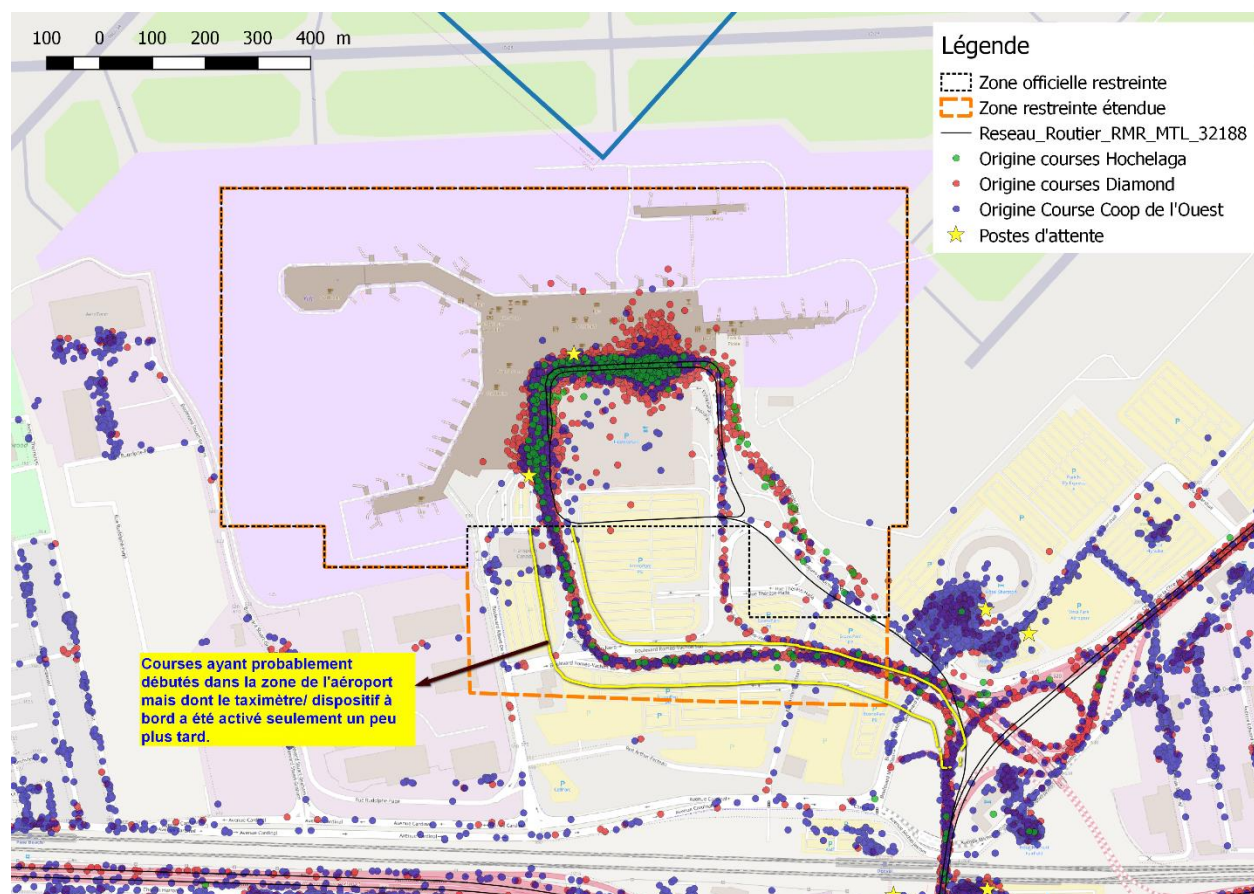


Figure 3.3 : Carte de la zone restreinte officielle de l'aéroport et de la zone restreinte étendue suggérée

3.2 Montréal : mise en contexte

Le taxi étant un mode de transport qui s'insère dans l'éventail urbain des options de mobilité, il convient de présenter brièvement la géographie et la démographie de Montréal, ainsi que les réseaux de transports routiers et collectifs et les modes de transport disponibles dans la métropole.

3.2.1 Démographie et géographie

Montréal est la plus grande ville du Québec et la deuxième en importance au Canada. Située sur une Île au sud-ouest du Québec et au confluent du fleuve St-Laurent et de la rivière des Outaouais, elle est le centre d'une région métropolitaine de recensement de 4,1 millions d'habitants (Gouvernement du Canada, 2017a). Le territoire de l'île de Montréal est composé de la Ville de Montréal - d'une population de 1,71 million d'habitants - et de 15 autres villes, qui portent la

population totale sur l'Île à 1,94 million d'habitants (Gouvernement du Canada, 2017b). Il convient de rappeler que le BTM, bien qu'il soit une entité de la Ville de Montréal, couvre les activités de taxi de tout le territoire de l'Île de Montréal. Ainsi, pour le reste du mémoire, le terme « les montréalais » fera référence aux résidents de l'île de Montréal.

Le Tableau 3.2 résume les principales statistiques géographiques et démographiques de l'Île.

Tableau 3.2 : Statistiques démographiques et géographiques de l'île de Montréal

Nombre de villes	16
Montréal, nombre d'arrondissements	19
Population [habitants]	1 942 000
Superficie [km ²]	499,26
Densité de population [hab./ km ²]	3 890
Âge moyen de la population [années]	40,6

3.2.2 Réseau de transport

Montréal comporte un important réseau de transport collectif. Sur l'Île, les services de transport en commun sont assurés par la Société de transport de Montréal (STM), qui opère le réseau de métro et le réseau d'autobus. Le métro de Montréal se compose de 4 lignes (orange, verte, bleue, jaune), 68 stations (dont 65 sur l'île de Montréal) et 71 kilomètres de voies (STM, 2017b). Le réseau d'autobus comprend 220 lignes desservies par une flotte de 1771 autobus et 16 lignes de taxi collectif. Les Montréalais effectuent en moyenne 1,253 millions de déplacements par jour sur le réseau de la STM (STM, 2017a).

La région de Montréal comporte aussi un réseau de train de banlieue opéré jusqu'au 1^{er} juin 2017 par l'Agence métropolitaine de transport (AMT) et, depuis cette date, par le Réseau de Transport Métropolitain (RTM). Ce réseau comporte six lignes sur lesquelles 19,5 millions de déplacements sont effectués annuellement (AMT, 2017).

La carte de la Figure 3.4 présente les réseaux de métro, de train de banlieue ainsi que le réseau routier supérieur de la région de Montréal.

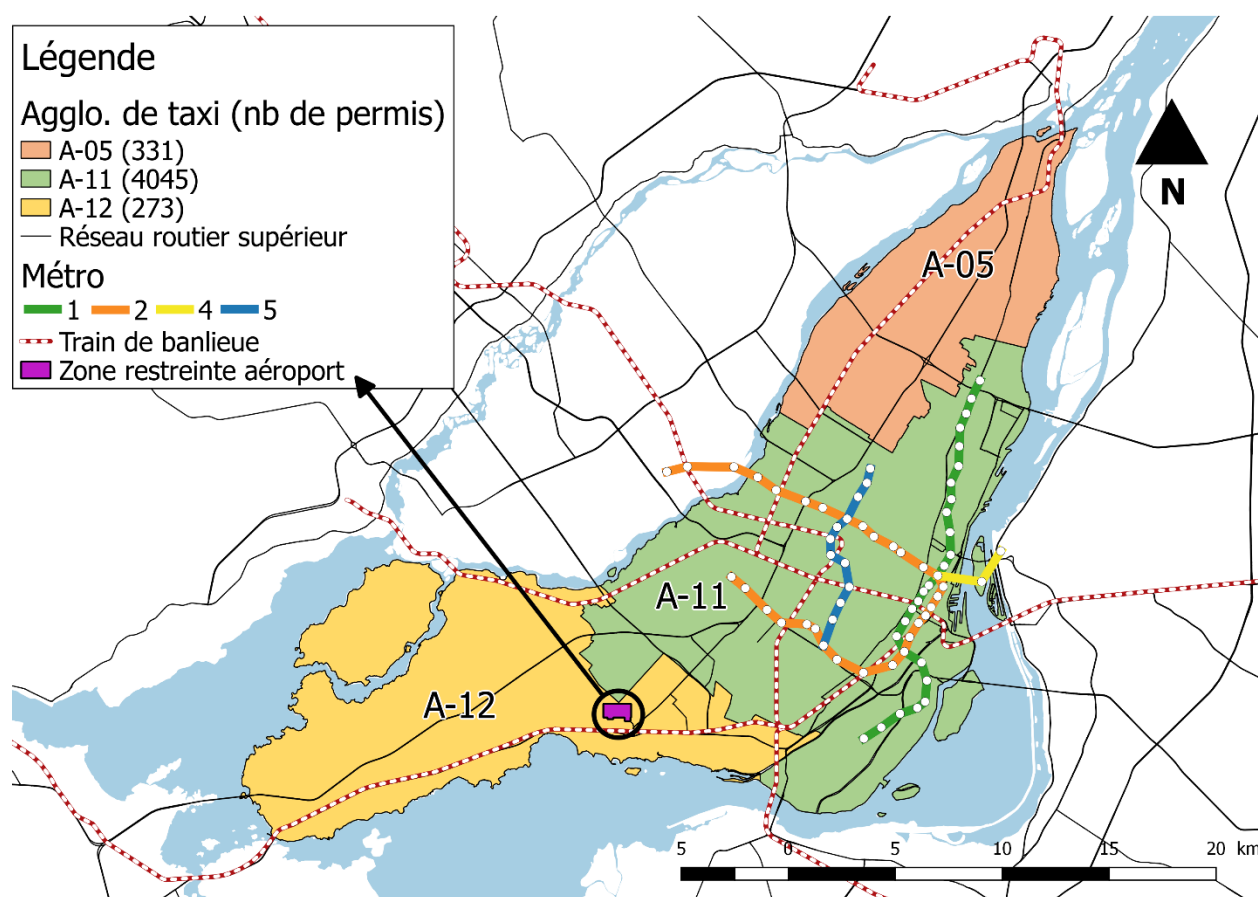


Figure 3.4 : Carte des agglomérations de taxi, du réseau routier supérieur, du réseau de train de banlieue et du réseau de Métro de Montréal

L'offre de transport à Montréal comprend aussi un réseau de véhicules en libre-service offert par les entreprises Communauto et Car2go. Communauto propose aux Montréalais une flotte d'environ 600 véhicules en libre-service en plus d'un parc d'environ 1700 véhicules partagés répartis dans 450 stations. En ce qui concerne le transport actif, Montréal est reconnu mondialement pour son infrastructure cyclable (Colville-Andersen, 2017), qui s'étend sur plus de 780 km (Ville de Montréal, 2016). Depuis 2009, les Montréalais ont aussi la possibilité d'utiliser le réseau de vélo en libre-service BIXI. En 2016, ce réseau comprenait 460 stations, 9630 points d'ancrage et une flotte de 5200 vélos (BIXI, 2015). En raison des conditions hivernales, la saison de BIXI s'étend du 15 avril au 15 novembre de chaque année. Durant cette période, pour l'année 2016, 4,1 millions de déplacements ont été effectués (BIXI, 2017).

3.2.3 Mobilité des Montréalais

L'enquête *Origine-Destination* réalisée tous les cinq ans depuis 1970 par les agences de transport de la grande région de Montréal, par le MTMDET et par la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) permet de connaître les habitudes de déplacement des Montréalais. La dernière en date, réalisée à l'automne 2013, a permis de sonder par téléphone 78 800 ménages représentant 4,35 % des ménages du territoire étudié. L'exercice a permis de récolter environ 410 700 déplacements réalisés par 188 700 personnes lors de la journée précédant le sondage téléphonique (AMT, 2015). En utilisant un processus de pondération, ces déplacements sont extrapolés pour représenter les quelques 9,4 millions qu'effectueraient, lors d'un jour moyen de semaine d'automne, les 4,3 millions de personnes présentes sur le territoire de l'enquête.

Puisque le territoire du Bureau du taxi de Montréal se limite à l'île de Montréal et que la très grande majorité des déplacements effectués par les taxis des agglomérations A-05, A-11 et A-12 ont comme origine l'île de Montréal, il convient de présenter certaines statistiques sur les résidents de l'Île et sur les déplacements dont le point d'origine y est situé.

La possession automobile est identifiée par plusieurs auteurs comme ayant une incidence sur l'utilisation du taxi (Schaller, 2005). Ainsi, le taux de motorisation des Montréalais est de 1,00 voiture par logis, et 29,5 % des ménages n'en possèdent aucune. Cette motorisation se traduit en un taux d'accès moyen à la voiture (soit le ratio par ménage du nombre de voitures sur le nombre de personnes avec permis) de 71%. Ce taux varie grandement selon l'arrondissement, allant de 52% d'accès au Centre-Ville à 90 % sur L'Île-Bizard. Il n'est donc pas surprenant de voir les Montréalais effectuer la majorité de leurs déplacements en voiture.

La Figure 3.5 présente la répartition modale de tous les déplacements ayant comme origine l'île de Montréal.

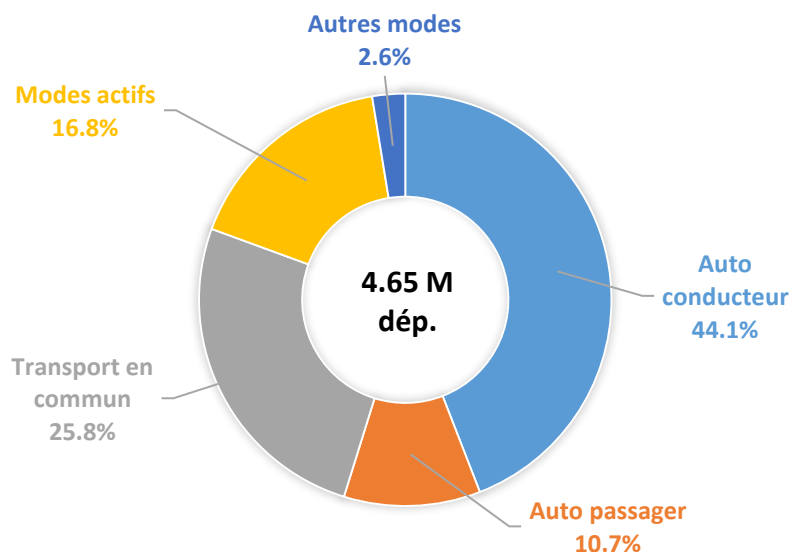


Figure 3.5 : Répartition modale des déplacements ayant pour origine l'île de Montréal

Les modes actifs comprennent les déplacements effectués en vélo et à la marche; les déplacements en transports en commun comprennent les déplacements bimodaux et ceux effectués exclusivement en transport collectif et, finalement, les déplacements en automobile sont ceux effectués exclusivement par ce mode comme passager ou conducteur. Les déplacements par taxi font partie des autres modes. Pour quelles raisons se déplacent les Montréalais ? Les motifs des déplacements dont l'origine se situe sur l'île de Montréal sont présentés à la Figure 3.6.

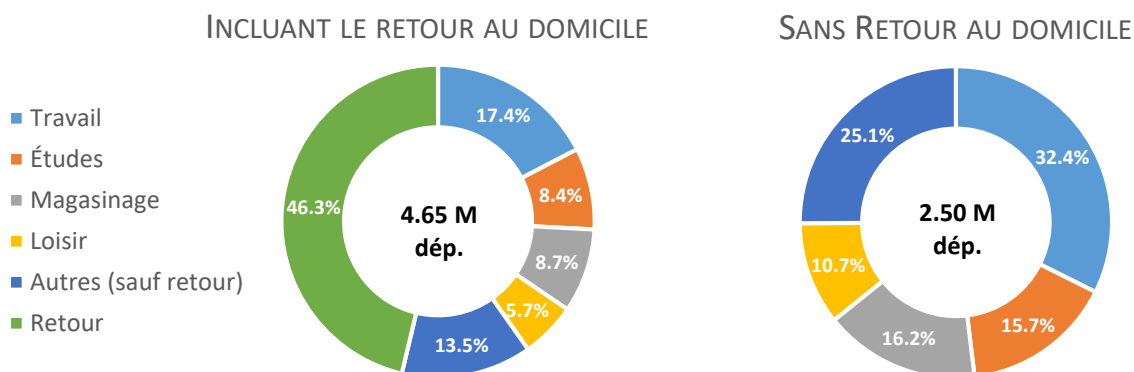


Figure 3.6 : Motifs des déplacements produits sur l'île de Montréal (avec et sans retour au domicile)

3.2.4 Description des agglomérations de taxi de l'île de Montréal

Puisque, les analyses des données de taxi des prochains chapitres sont réalisées sur les trois agglomérations de taxi à Montréal, il est pertinent de pouvoir distinguer les habitudes de déplacements propres à chacune de ces zones. La Figure 3.7 présente la répartition modale des déplacements à l'origine des agglomérations de taxi A-05 (est), A-11 (centre) et A-12 (ouest).

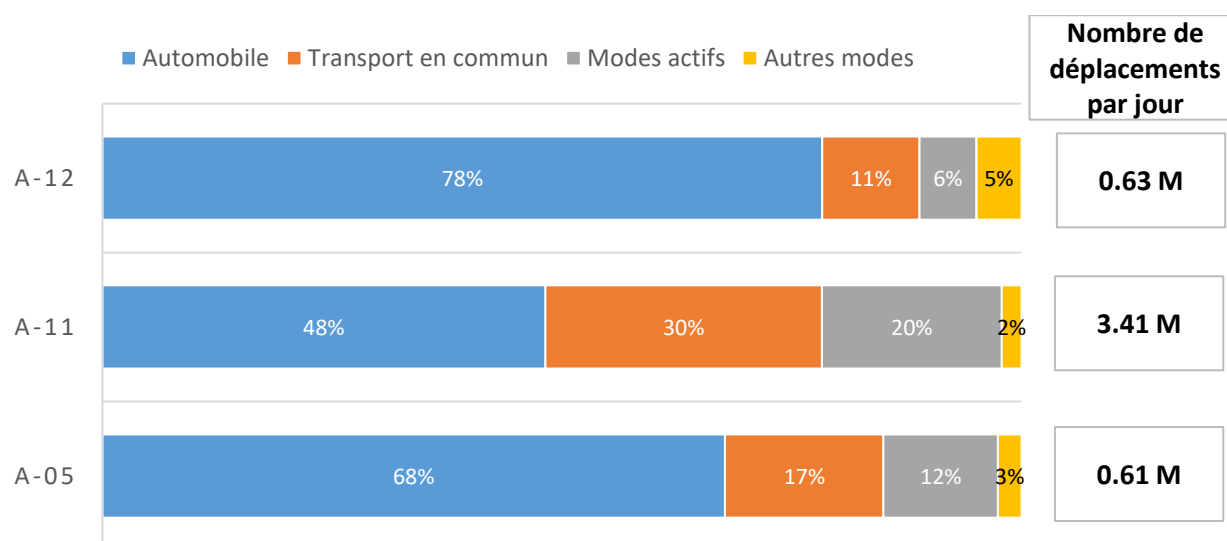


Figure 3.7 : Répartition modale des déplacements à l'origine des trois agglomérations de taxi de Montréal

Afin de bien situer le lecteur, il convient aussi de présenter d'autres statistiques permettant la catégorisation de ces trois agglomérations. Celles-ci sont présentées au Tableau 3.3. Le choix de ces statistiques découle de la littérature qui les identifie comme ayant un impact significatif sur la demande de déplacements par taxi (Lacombe et Morency, 2015; Yang et Gonzales, 2014). Celles-ci sont principalement extraites de l'enquête *Origine-Destination 2013* (AMT, 2015).

Tableau 3.3 : Statistiques démographiques des trois agglomérations de taxi de Montréal

	A-05 (Est de l'Île)	A-11 (Centre)	A-12 (Ouest de l'Île)
Nombre d'arrondissements et villes liées ¹	6	17	12
Population [hab.]	311 600	1 297 500	277 360
Densité de population [hab./ km ²]	3 350	5 452	1 651
Taux de motorisation [auto/mén.]	1,18	0,86	1,59
Taux d'accès à la voiture [auto/pers avec permis]	0,80	0,66	0,86
% des ménages sans voiture	20,5 %	34,7 %	10,5 %
Nombre total de déplacements motif travail s'y destinant	94 800	799 750	110 800
% de la pop. âgé de 20 à 29 ans	11,7 %	16,7%	11,6%
Nombre total de permis de taxi ²	331	4045	273
Taxis par 1000 habitants	1,06	3,12	0,95

¹ Les villes liées sont les 15 villes autres que Montréal situées sur l'île de Montréal

² Restreint + Régulier, au 31 octobre 2016

CHAPITRE 4 DESCRIPTION DES DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE

4.1 Données disponibles

Cette section décrit tout d'abord les données de taxi disponibles pour la réalisation de ce mémoire telles que fournies par les trois intermédiaires en service : Taxi Diamond, Taxi Hochelaga et Coop de l'Ouest. Les données complémentaires utilisées sont aussi présentées. Par la suite, la méthodologie de construction de la base de données y est décrite. Cette méthodologie inclut les étapes de traitement des données visant à préserver uniquement les données de courses et les points GPS valides. La dernière section présente la méthodologie de pondération des permis qui est utilisée pour le calcul des indicateurs du chapitre suivant.

4.1.1 Données de taxi

L'entièreté de ce projet repose sur la disponibilité des données GPS collectées passivement par les flottes de taxis associés à des intermédiaires en service à Montréal. En effet, selon les règlements du BTM, il est maintenant obligatoire pour les intermédiaires en service de taxi de collecter et de préserver pendant 1 an les données GPS et de répartition des taxis de leur flotte. Grâce à des ententes entre Polytechnique Montréal et le Bureau du taxi de Montréal, plusieurs intermédiaires en service fournissent en continu leurs données à des fins de recherche.

À ce jour, les données reçues et utilisées pour réaliser les analyses présentées dans ce mémoire proviennent de trois intermédiaires en service. Tout d'abord, les données de l'intermédiaire Taxi Diamond, le plus important à Montréal avec environ 25 % des permis, sont les premières à avoir été partagées avec Polytechnique. Ce sont donc les premières à avoir été analysées, d'abord par Pelé et Morency (2014), puis par Lacombe et Morency (2015). Elles ont permis la réalisation d'un projet de maîtrise déposé en août 2016 par Annick Lacombe (Lacombe, 2016) sous la supervision de la professeure Catherine Morency. Environ 1 100 véhicules sont associés à Taxi Diamond et près de 95 % de ces permis opèrent dans l'agglomération A-11, les autres opérant dans l'agglomération A-12 (Diamond de l'Ouest). Pour le présent projet, les données de deux autres intermédiaires en service sont aussi utilisées, soit celles de Taxi Hochelaga et celles de Coop de l'Ouest. Le système de collecte et de gestion de données de ces deux intermédiaires est assuré par l'entreprise Fraxion, ce qui assure une uniformité des données entre les deux intermédiaires. Le système est toutefois différent de celui de Taxi Diamond, qui utilise le système Mobile Knowledge. Taxi Hochelaga fait

la répartition pour environ 510 véhicules dont 80 % opèrent dans l'agglomération A-11 et 20% dans la zone A-05. Coop de l'Ouest, quant à elle, concentre toutes ses activités dans l'ouest de l'île, soit dans la zone A-12, et offre la répartition pour environ 205 véhicules. La combinaison des données provenant de ces trois intermédiaires permet donc de couvrir les trois agglomérations de taxi du territoire montréalais. Le nombre exact de permis associé à chaque intermédiaire pour chaque agglomération est présenté à la section 4.4.2.

4.1.2 Autres données

Il importe d'inclure dans la base de données des données complémentaires qui permettent le calcul des indicateurs de suivis de l'industrie contenus dans le tableau de bord présenté au chapitre 5. Ces données sont aussi utiles pour la réalisation des analyses des chapitres 6 et 7. Il s'agit principalement de données géographiques sous format « shapefile » (couche géographique) qui permettent d'effectuer des analyses spatiales sur le territoire étudié. Ces données géographiques sont :

- la couche des limites administratives des villes liées et des arrondissements de l'île de Montréal;
- la couche des secteurs municipaux de l'enquête *Origine-Destination 2013*;
- la couche des secteurs du recensement (SR) 2011, incluant la population;
- la couche de toutes les adresses civiques à Montréal.

Il importe d'inclure les données liées au taxi à Montréal, à savoir :

- la couche délimitant les trois agglomérations de taxi de Montréal fournie par le BTM;
- la couche des postes d'attente pour taxis fournie par le BTM;
- la couche de la zone restreinte de l'aéroport construite d'après les informations fournies par le BTM;
- la couche de la zone du centre-ville considérée dans la tarification fixe entre l'aéroport et le centre-ville construite à partir de la carte sur le site web de la CTQ.

4.2 Types et formats des données taxis

Les intermédiaires en service de taxi récoltent de nombreuses données sur leurs opérations. Toutefois, seuls deux types de données sont transmis en continu à Polytechnique par les trois intermédiaires impliqués dans le projet. Il s'agit des traces GPS collectées par des dispositifs à bord

des véhicules ainsi que les données de répartition des courses collectées par le système central de chaque répartiteur.

4.2.1 Les traces GPS

La trace GPS regroupe l'ensemble des points GPS collectés par les dispositifs à bord des véhicules. Un point GPS correspond à l'enregistrement des coordonnées géographiques (latitude, longitude) du véhicule à un instant donné. La fréquence d'enregistrement des points dépend du système et peut être basée sur un intervalle de temps ou un intervalle de distance parcourue. Pour le système Fraxion, l'intervalle de temps normal entre deux points est de deux secondes lorsque le véhicule est en mouvement et de dix secondes lorsque le véhicule est immobile. Il arrive toutefois que le système enregistre des points à des intervalles différents de ces standards. Plusieurs raisons peuvent expliquer cet écart avec l'intervalle normal du dispositif : mauvais fonctionnement, présence d'un obstacle entre les satellites et le récepteur, etc. Sans connaître le modèle précis des dispositifs à bord des véhicules, il est difficile de déterminer lequel de ces imprévus est le plus probable. La Figure 4.1 présente, pour un mois de données de l'intermédiaire Taxi Hochelaga, le pourcentage des points selon l'intervalle de temps avec le point précédent.

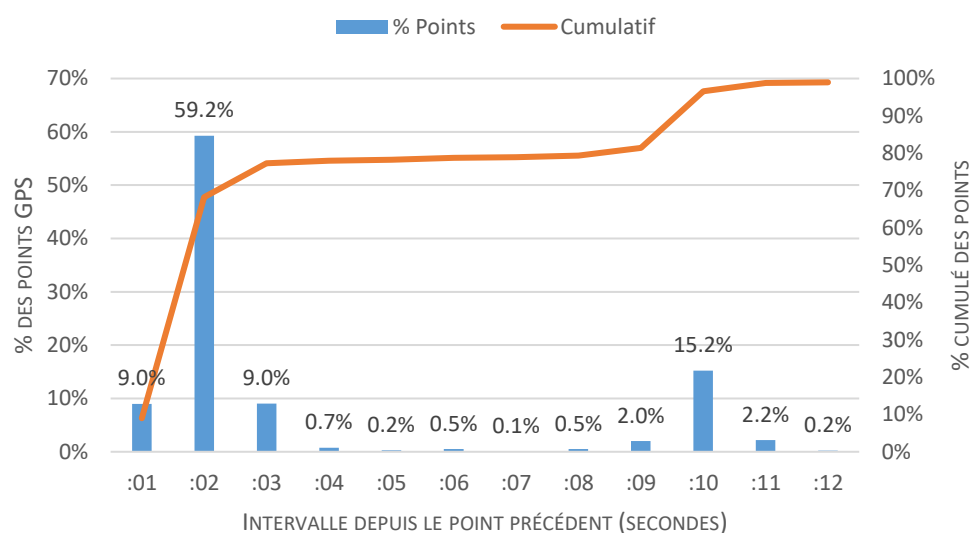


Figure 4.1 : proportion des points selon l'intervalle de temps avec le point précédent, taxi hochelaga, mois de juillet 2016

Ainsi, 74,4 % des 140 millions de points collectés en un mois par environ 500 véhicules associés à Taxi Hochelaga sont dans les standards indiqués (intervalles de 2 ou 10 secondes) par le gestionnaire de base de données. Pour Coop de l'Ouest, cette proportion s'élève à 77,1 %.

De plus, bien que cela ne soit pas indiqué, les intervalles de temps peuvent atteindre plusieurs jours. Ainsi, pour un intervalle de temps plus élevé que 10 minutes, l'hypothèse posée est que ceux-ci résultent d'une déconnexion du véhicule et que le point avec un intervalle d'une longue durée avec le point précédent représente le premier point lors de la reconnexion au système.

Pour le système utilisé par Taxi Diamond depuis le printemps 2015, les points sont enregistrés à chaque 500 m ou à chaque minute. Un véhicule en mouvement aura donc un enregistrement chaque minute en plus d'un enregistrement à chaque 500 m, alors qu'un véhicule immobile aura un enregistrement seulement chaque minute. D'autres informations, variables selon le système de collecte de données, sont aussi enregistrées par le dispositif tels la vitesse instantanée, l'azimut, le statut du dôme du véhicule ou du statut de disponibilité du chauffeur, l'identifiant unique du véhicule et l'identifiant unique du chauffeur.

4.2.2 Les tables de répartition de courses

Les données de répartition des courses peuvent prendre plusieurs formes selon le système de gestion de base de données. Dans le cas du système Fraxion, utilisé par Taxi Hochelaga et Coop de l'Ouest, ces données sont enregistrées dans une table d'appels où chaque entrée comprend les informations d'une commande de véhicule ayant été répartie et acceptée par un chauffeur. Chaque appel comprend donc l'adresse (no civique, rue, ville) énoncée par le client par téléphone au répartiteur ou par application mobile, les coordonnées géographiques (latitude, longitude) calculées par le système depuis une base de données d'adresses géoréférencées, l'identifiant du véhicule ayant accepté la commande, l'horodatage d'acceptation par le chauffeur, l'horodatage d'arrivée du véhicule dans un rayon de 150 m de l'adresse du client, l'horodatage de démarrage du taximètre (début de la course) et l'horodatage de la fin de la course ou de l'annulation de la course. Il est à noter que cette table ne comprend pas les coordonnées GPS liées à chacun des quatre événements horodatés (course acceptée par chauffeur, arrivée chez le client, démarrage du taximètre, fin de la course). Ces coordonnées peuvent toutefois être obtenues depuis les tables GPS par une jointure sur l'identifiant du véhicule et sur l'horodatage.

Pour le système utilisé par Taxi Diamond, les données de répartition sont les données des courses enregistrées par le système embarqué dans chaque véhicule. Chaque entrée correspond à une course et les champs d'information sont les événements qui se sont ou non produits en lien avec cette course. Lorsqu'un événement survient, trois champs sont remplis automatiquement, soit l'horodatage, la latitude et la longitude. Les champs prennent la valeur de zéro lorsque l'événement en question ne s'est pas produit. Les événements sont le « hélage » (la course débute, car le taxi est hélé sur la rue ou à un poste d'attente), l'acceptation de la course par le chauffeur dans le cas d'une course répartie par le répartiteur, le rejet de la course, l'annulation par le client, le transfert de la course par un autre chauffeur, l'absence du client au point d'origine, l'arrivée du véhicule au point d'origine, le démarrage du taximètre, l'arrêt du taximètre et la complétion du paiement. Certains événements sont donc complémentaires. Par exemple, si une course est hélée, le champ « hélage » se remplit, alors que le champ « Acceptation par le chauffeur » prendra automatiquement la valeur de 0.

4.2.3 Format et précision sur les données transmises

Le Tableau 4.1 présente les champs des tables reçues du système Fraxion, tandis que le Tableau 4.3 indique les champs du système utilisé par Taxi Diamond.

Tableau 4.1 : Contenu des tables fournies par le système Fraxion

Table GPS		Table d'appels
Identifiant du point GPS		Identifiant de l'appel
Identifiant du véhicule	↔	Identifiant du véhicule
Identifiant du chauffeur		Numéro civique
Latitude		Rue
Longitude		Ville
Vitesse instantanée (km/h)		Latitude de l'adresse
Statut du dôme*		Longitude de l'adresse
Horodatage		Type d'appel (régulier ou application)
		Horodatage d'acceptation par chauffeur
		Horodatage d'arrivée chez le client
		Horodatage du client à bord (début de la course)
		Horodatage de fin de la course

Le statut du dôme dans les tables GPS indique le statut de disponibilité du véhicule. Celui-ci peut prendre trois ou quatre valeurs selon le système en place dans le véhicule. Dans le premier cas, le

dispositif GPS est connecté au taximètre et le champ peut alors indiquer le statut « en course ». Dans le deuxième cas, le dispositif GPS n'est pas connecté au taximètre. Pour ces véhicules, le champ « Statut du dôme » ne change pas lorsque le véhicule est en course. Le Tableau 4.2 résume les statuts possibles selon les deux cas présentés.

Tableau 4.2 : Deux cas possibles d'ensembles de valeurs pour le champ « statut du dôme » des tables GPS du système Fraxion

Statut	Description cas 1 : véhicules connectés	Description cas 2 : véhicules non-connectés
0	Client à bord (course hélée ou commandée)	-
1	Disponible : prêt à recevoir une course	Client à bord OU prêt à recevoir une course
2	Connecté au système, mais non disponible	Connecté au système, mais non disponible
7	Hors-service, chauffeur non connecté	Hors-service, chauffeur non connecté

L'identification des courses hélées par le changement du statut du dôme n'est donc possible que pour les véhicules du premier cas, soit les véhicules connectés. La norme actuelle pour les véhicules des intermédiaires Taxi Hochelaga et Coop de l'Ouest est d'être connecté. Le processus de connexion du module n'est toutefois pas instantané et, bien que le nombre de véhicules dit « connectés » ait augmenté au cours de l'année d'étude des données, soit l'année 2016, il existe encore un nombre non négligeable de véhicules non connectés, et ce, principalement chez Taxi Hochelaga. La Figure 4.2 permet d'apprécier, pour chaque mois, la proportion de véhicules dont le module est connecté au taximètre pour les deux intermédiaires.

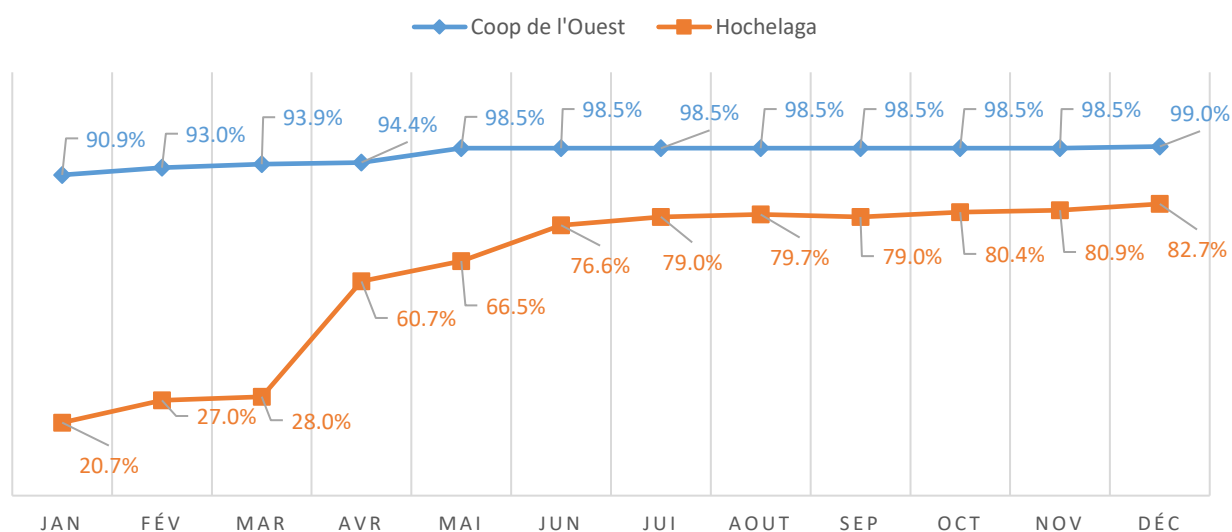


Figure 4.2 : Taux de connexion des véhicules du système Fraxion pour l'année 2016

Il est nécessaire de prendre en compte seulement les véhicules connectés pour les calculs d'indicateurs liés aux courses, ce qui nécessite un calcul de pondération différent pour ces indicateurs. Les détails sont présentés à la section 4.4.2.

Tableau 4.3 : Contenu des tables fournies par le système de Taxi Diamond

Table GPS	Table des courses
Identifiant du point GPS	Identifiant de la course
Horodatage	Évènement : Taxi hélé sur la rue
Latitude	Évènement : Course acceptée par le chauffeur
Longitude	Évènement : Course rejetée par le chauffeur
Identifiant du véhicule	Évènement : Course annulée par le client
Vitesse instantanée (km/h)	Évènement : Course transférée par un autre chauffeur
Azimut	Évènement : Client ne s'est pas présenté
Identifiant du chauffeur	Évènement : Arrivée du véhicule au point d'origine
Statut (état du chauffeur)*	Évènement : Taximètre démarré par le chauffeur
Identifiant de la course	Évènement : Taximètre arrêté par le chauffeur
	Évènement : Paiement complété

Note : Tous les événements de la table des courses sont composés de trois champs : horodatage, latitude et longitude de l'évènement.

Tout comme le statut du dôme dans le cas du système Fraxion, le champ « Statut » indique l'état du chauffeur/véhicule. Ce champ peut prendre les valeurs indiquées dans le Tableau 4.4. Les descriptions des valeurs présentées dans ce tableau sont celles de Lacombe (2016).

Tableau 4.4 : Valeurs possibles pour le champ « statut » des véhicules de Taxi Diamond

Statut	Description
1	Hors service
2	En service, pas prêt à recevoir des clients
3	En service, prêt à recevoir des clients
4	En service : va chercher ou est avec des clients

4.2.4 Statistiques sur les données utilisées

Les premières données historiques disponibles remontent à février 2014 pour Taxi Diamond, à septembre 2014 pour Taxi Hochelaga et à janvier 2015 pour Coop de l'Ouest. Alors que les premières données ont été transmises en bloc, celles-ci sont maintenant transmises de façon quotidienne sous forme de tables GPS, de tables d'appels (Fraxion) et de tables de courses

(Diamond) et sont préservées sur un serveur à Polytechnique. L'espace-disque nécessaire pour stocker ces données est important, et, pour cette raison, il fut établi qu'une seule année de donnée, soit l'année 2016, serait étudiée dans le cadre de ce mémoire. L'espace disque requis pour cette seule année de données s'élève à 2,2 téraoctets (2200 gigaoctets). Toutefois, la méthodologie de mise en place de la base de données, de traitement et de calcul des indicateurs peut être appliquée à la totalité des données disponibles.

Les données couvrent la quasi-totalité des 366 jours de l'année 2016. Deux jours de données sont absents pour l'intermédiaire Taxi Diamond, soit les 7 et 18 juillet 2016. Pour Taxi Hochelaga, les journées du 27 et 28 septembre 2016 sont dépourvues de données et les 26 et 29 septembre ne comportent que des données partielles. Pour cette raison, les données de ces six jours sont retirées du traitement. Pour l'intermédiaire Coop de l'Ouest, les données de 2016 sont complètes.

4.3 Méthodologie de construction de la base de données

L'espace requis pour stocker les données étant important, la base de données est installée sur un serveur de la Chaire Mobilité à Polytechnique. Le logiciel libre *PostgreSQL* fut choisi comme système de gestion de base de données relationnelle et objet. Cet outil est développé sous une licence libre par une communauté internationale de contributeurs. Il est régulièrement mis à jour, se conforme aux standards du langage SQL : « Structured Query Language » et peut-être utilisé sous tous les systèmes d'exploitation (Linux, Windows, macOS) (PostgreSQL, 2017a). De plus, cet outil permet la gestion de bases de données de très grandes tailles et possède une puissante extension de prise en charge des objets spatiaux : PostGis. Cette extension rend la connexion possible avec le logiciel de système d'information géographique QGIS, lui aussi libre d'utilisation, permettant notamment la visualisation des données spatiales. Il est donc tout à fait adapté pour gérer une base de données GPS de taxis.

4.3.1 Schéma

La base de données est construite de façon à faciliter le calcul des indicateurs via l'exécution de requêtes simples sur les tables de données. L'outil PostgreSQL permet la séparation de la base de données en schéma. Un schéma est un regroupement de tables et de d'autres types d'objets de la base de données. Plusieurs raisons peuvent motiver un gestionnaire de base de données à utiliser les schémas (PostgreSQL, 2017c). Dans le cas présent, ceux-ci sont utilisés afin de séparer les

objets dans des groupes logiques. Ainsi les données de chaque intermédiaire sont contenues dans des schémas différents. De plus, le schéma par défaut (public), contient les tables d'informations complémentaires présentées à la section 4.1.2. Actuellement, la base de données ne comprend donc que quatre schémas, mais des schémas additionnels peuvent être ajoutés pour tout intermédiaire subséquent.

La Figure 4.3 présente l'organisation des tables dans la base de données.

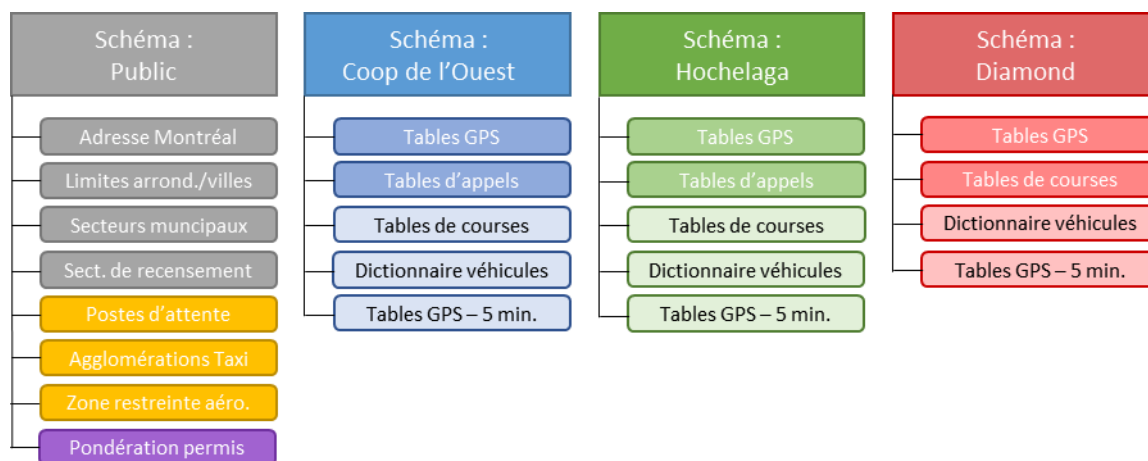


Figure 4.3 : Architecture de la base de données taxi multi-intermédiaire

Ainsi, dans le schéma « public », les tables en jaune sont les tables d'informations complémentaires liées au taxi, celles de couleur grise sont les informations complémentaires géographiques et la table en violet correspond à la pondération mensuelle attribuée à chaque type de permis. Les schémas des trois intermédiaires sont présentés avec une couleur distinctive et les tables présentées avec une étiquette plus foncée (GPS et appels/courses) sont les tables brutes reçues, nettoyées et traitées. Les tables avec les étiquettes plus pâles sont des tables rajoutées lors de l'élaboration de la base de données afin de faciliter le calcul des indicateurs et les analyses. La méthodologie de construction de cette architecture est détaillée à la section suivante.

4.3.2 Principe de partitionnement horizontal

Le système est monté en utilisant le principe de partitionnement horizontal. Ainsi, plutôt que d'avoir une table immense contenant toutes les entrées, les données sont réparties dans des partitions ou tables enfants qui héritent des caractéristiques et colonnes d'une table parent unique. Les données sont contenues dans les tables enfants et les tables parentes fonctionnent sous un

principe similaire à une « vue », c'est-à-dire qu'une requête sur une table parent permet d'accéder (ou voir) toutes les données de ses tables enfants. Dans le cas présent, les tables enfants sont contraintes sur l'horodatage principal de la table de façon à simplement contenir les données entre deux dates déterminées, par exemple le 1^{er} et le dernier jour de chaque mois. La présence de ces contraintes permet l'exécution de requêtes beaucoup plus rapidement dans les tables enfants lorsqu'une requête est effectuée sur la table parent. Par exemple, une requête pour faire afficher toutes les courses du 3 mars 2016 effectuées sur la table parente des courses 2016 regardera d'abord dans laquelle des tables enfants se situe cette date avant de scanner les données de la table enfant du mois de mars pour identifier les courses de cette journée spécifique, évitant ainsi de scanner les 12 tables mensuelles. Le partitionnement horizontal est donc une forme d'indexation des tables.

Le choix des échelles temporelles dépend de la taille des tables. Ainsi, vu leur taille considérable, les tables GPS (2 à 6 millions de points/ jour) le partitionnement parent/enfant est fait selon l'échelle temporelle mois/jour. Par exemple, les données du mois de janvier sont contenues dans 31 tables journalières enfants et la table parent est la table du mois de janvier qui permet d'accéder en une seule requête à l'ensemble des données du mois. Pour faire des calculs les tables GPS de l'année complète, des boucles doivent être utilisées. Les tables de courses et d'appels étant beaucoup plus petites (30 000 à 50 000 lignes/ jour), le partitionnement parent/enfant est fait selon l'échelle temporelle année/mois. La Figure 4.4 illustre le partitionnement des tables GPS et la Figure 4.5 le partitionnement des tables de courses.

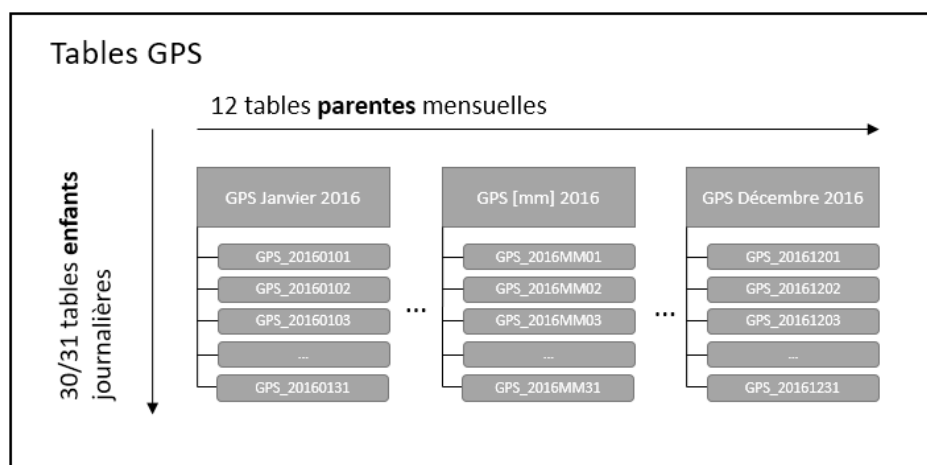


Figure 4.4 : Représentation du partitionnement horizontal des tables GPS

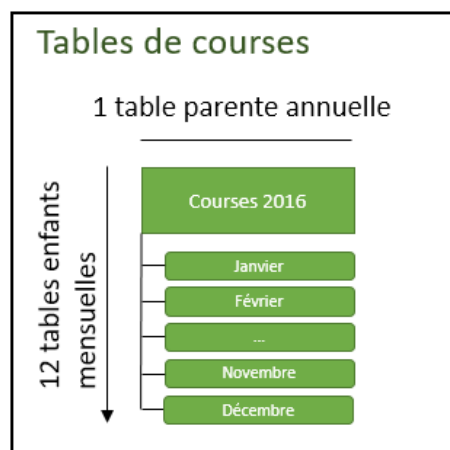


Figure 4.5 : Représentation du partitionnement horizontal des tables de courses

4.3.3 Étapes de préparation

Ces étapes générales de préparations sont orientées pour le format de données du système Fraxion utilisé par Taxi Hochelaga et Coop de l'Ouest. En effet, une méthodologie de traitement des données de l'intermédiaire Taxi Diamond a déjà été établie par (Lacombe, 2016). Les données de Diamond sont donc importées en utilisant les scripts de traitement de Lacombe. De légères adaptations du format des tables de Taxi Diamond sont toutefois requises afin de les arrimer au format du système Fraxion.

Afin d'arriver à une base de données complète permettant le calcul facile d'indicateurs, plusieurs étapes sont requises. Ces étapes sont présentées au Tableau 4.5.

Tableau 4.5 : Étapes de traitement de préparation des données de taxi

Étape 1	A) Importation des données brutes B) Nettoyage et traitement des données GPS C) Extraction et traitement des courses depuis les tables GPS D) Agrégation des tables GPS
Étape 2	A) Identification des agglomérations et types de permis B) Pondération des permis
Étape 3	A) Calcul des indicateurs

L'étape 1 est détaillée dans la présente section, l'étape 2, dans la section suivante 4.4 et l'étape 3 dans le Chapitre 5.

4.3.3.1 Étape 1.A : Importation des données brutes

Les données brutes sont reçues dans des fichiers à valeur séparée par des virgules (*comma-separated value* ou CSV) quotidiennement et doivent être importées dans les tables appropriées. Les données GPS sont segmentées en douze tables parentes, une par mois, desquelles héritent les tables journalières enfants. Les tables d'appels sont importées dans des tables mensuelles enfants qui héritent d'une table annuelle parente. Une colonne de géométrie est ajoutée à chaque table et un point géométrique dans le système de coordonnées MTM Zone 8 est ajouté pour chaque ligne contenant une paire de coordonnées GPS en latitude et longitude. Ce système de coordonnées est choisi, car c'est le standard d'utilisation pour un système de coordonnées à Montréal dont les unités sont en mètre. C'est notamment le système en place dans les données géoréférencées de l'enquête Origine-Destination. Finalement, chaque table est indexée sur les deux colonnes : géométrie et horodatage. Un système de gestion de base de données comme PostgreSQL permet l'indexation, c'est-à-dire l'ajout d'une méthode interne de classification des données dans une table. Ce principe permet d'effectuer des requêtes beaucoup plus rapidement sur le jeu de données en évitant au système de devoir passer à travers toutes les lignes pour retrouver l'information recherchée (PostgreSQL, 2017b). L'indexation est essentielle afin de pouvoir exécuter des requêtes dans des délais raisonnables, particulièrement les requêtes spatiales utilisant la colonne de géométrie, sur des tables contenant plusieurs millions de lignes comme c'est le cas pour les tables GPS.

4.3.3.2 Étape 1.B : Traitement des données brutes

Une fois les données brutes importées, il convient de traiter les tables de façon à retirer les lignes avec des informations manquantes ou erronées. Le processus de traitement se décline en deux étapes : (1) nettoyage ou filtrage des données et (2) standardisation.

Ainsi, pour le nettoyage des tables GPS du système Fraxion, deux importantes anomalies dans les données sont observées et doivent être corrigées :

- la valeur des coordonnées GPS (latitude et longitude) correspond à zéro;
- une ligne est un doublon de la ligne précédente.

Ces lignes sont identifiées et retirées de chaque table GPS. De plus, des communications avec l'entreprise Fraxion ont permis de comprendre que deux véhicules fictifs étaient parfois utilisés pour faire des tests sur leur système. Ainsi, toutes les lignes faisant référence à ces véhicules sont

aussi supprimées. Le Tableau 4.6 présente le nombre d'entrées brutes pour l'année 2016 pour les intermédiaires du système Fraxion et le nombre de lignes retirées pour les raisons mentionnées.

Tableau 4.6 : Résultats du traitement des tables de données GPS du système Fraxion

	Coop Ouest		Hochelaga	
Nombre de jours de données	366		362	
Traitement	Nombre	%	Nombre	%
Nombre de points bruts 2016	725 533 388	100 %	1 769 434 440	100 %
Latitude-longitude = 0	641 923	0,09 %	6 609 157	0,37 %
Doublons	1 814 699	0,25 %	7 076 957	0,40 %
Véhicules fictifs	1 224	0,00 %	168 974	0,01 %
Nombre de points nets 2016	722 975 542	99,7%	1 755 579 352	99,2 %

Le système et le format des données de Taxi Diamond étant différents, des opérations différentes de nettoyage sont effectuées. Le seul nettoyage des points GPS effectué selon la méthode de Lacombe est de vérifier s'ils sont dans une zone allant de Toronto à Sept-Îles en longitude et de New York à Sept-Îles en latitude. En filtrant selon cette zone, appelée « zone de Montréal », Lacombe filtre aussi tous les points dont les coordonnées sont égales à zéro. Ainsi, les résultats des processus de traitement développés par Lacombe sont présentés pour les données 2016 de Taxi Diamond au Tableau 4.7.

Tableau 4.7 : Résultat du traitement de Lacombe pour les tables de données GPS de Taxi Diamond

	Taxi Diamond	
Nombre de jours de données en 2016	364	
Traitement	Nombre	%
Nombre de points bruts 2016	528 456 974	100 %
Points hors de la zone de Montréal	1 972 295	0,37 %
Nombre de points nets 2016	526 484 679	99,63 %

Suivant ces étapes de nettoyage, le nombre total de points GPS restants pour tous les intermédiaires s'élève à 3 milliards pour l'année 2016, ce qui fait une moyenne mensuelle de 250 millions de points et une moyenne journalière de 8,3 millions de points.

La deuxième étape consiste à enrichir les tables GPS par l'ajout d'informations dans de nouvelles colonnes. Ces informations se regroupent en deux catégories : informations géométriques et informations par rapport au point précédent.

Les informations géométriques sont l'ajout pour chaque point GPS de l'endroit où celui-ci se situe selon différents découpages géographiques :

- agglomération de taxi (A-05, A-11, A-12);
- arrondissement ou ville liée de Montréal;
- secteur municipal de l'enquête origine-destination 2013;
- secteur de recensement 2011.

Le calcul d'informations par rapport au point précédent de la trace GPS d'un véhicule donné permet de valider les points, d'identifier des points aberrants, d'identifier une déconnexion prolongée d'un véhicule, etc. Ces informations sont le temps écoulé, la distance parcourue et la vitesse.

4.3.3.3 Étape 1.C : Extraction et traitement des courses depuis les tables GPS

Bien que les tables des appels de répartition soient disponibles pour les intermédiaires du système Fraxion, Coop de l'Ouest et Hochelaga, d'importantes incohérences dans les données de ces tables rend très ardu les traitements requis pour s'assurer de préserver seulement les courses valides. Ainsi, une méthode alternative est développée afin d'extraire les données de courses depuis les tables GPS grâce au changement de statut du dôme. Bien qu'il soit mentionné à la section 4.2.3 qu'il est impossible de distinguer le statut « en course » du statut « disponible » pour un nombre non négligeable de véhicules, principalement pour Taxi Hochelaga, la grande majorité des courses peuvent toutefois être identifiées de cette façon. Une stratégie de pondération des permis adaptée à cette réalité est présentée à la section 4.4.1.3. La méthode d'extraction des courses depuis les tables GPS est simple, elle consiste à identifier le changement de statut indiquant un début de course et le changement de statut indiquant la fin de cette même course. Toutes les informations sur ces deux points GPS et les coordonnées géométriques de tous les points entre les deux sont extraites et insérées dans la table appropriée de course. À noter que dans la table de course, une ligne correspond à une course. La Figure 4.6 schématise ce procédé, indiquant les statuts possibles avant pendant et après la course dans les données GPS. Les trois statuts possibles du véhicule utilisant le système Fraxion avant et après la course sont : (1) libre, (2) non-disponible et (7) chauffeur non-connecté

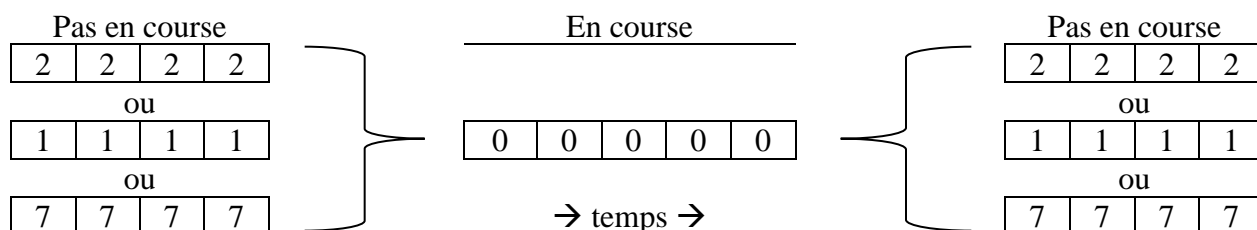


Figure 4.6: Schématisation des possibilités de changement de statut dans les tables GPS permettant d'identifier une course

Ainsi, bien que la très grande majorité des courses débute par un changement de statut de 1 vers 0, certaines courses débutent tout de même alors que le taxi est indiqué non-disponible (statut 2) et parfois, non-connecté (statut 7). Ce dernier statut survient d'ailleurs pendant quelques dizaines de secondes avant que le chauffeur ne se connecte via son identifiant à la tablette dans son véhicule et est donc négligeable dans l'ensemble des données.

À titre d'exemple, le Tableau 4.8 présente un extrait d'une table GPS contenant une course depuis un statut 1 : disponible.

Tableau 4.8 : Extrait d'une table GPS contenant une course – Taxi Hochelaga, novembre 2016

gid	vehicule_id	employe_id	lat	long	vitesse	statut_dome	temps	geom_mtm	distance	duree	vit_km_h	arrond	sridu	sm13	taxi_zone
19727034	1802	3672	45.57	-73.63	0	1	04/11/16 13:26:52	010100002080	0	00:00:10	0	VS	4620261	109	11
19727877	1802	3672	45.57	-73.63	11	1	04/11/16 13:27:02	010100002080	1	00:00:10	0	VS	4620261	109	11
19728118	1802	3672	45.57	-73.63	12	0	04/11/16 13:27:04	010100002080	8	00:00:02	14	VS	4620261	109	11
19728257	1802	3672	45.57	-73.63	13	0	04/11/16 13:27:06	010100002080	4	00:00:02	7	VS	4620261	109	11
19728459	1802	3672	45.57	-73.63	14	0	04/11/16 13:27:08	010100002080	9	00:00:02	16	VS	4620261	109	11
...
19794279	1802	3672	45.6	-73.58	0	0	04/11/16 13:39:18	010100002080	0	00:00:10	0	RO	4620201	110	11
19795192	1802	3672	45.6	-73.58	0	0	04/11/16 13:39:28	010100002080	0	00:00:10	0	RO	4620201	110	11
19796085	1802	3672	45.6	-73.58	0	0	04/11/16 13:39:38	010100002080	1	00:00:10	0	RO	4620201	110	11
19796937	1802	3672	45.56	-73.58	0	1	04/11/16 13:39:48	010100002080	0	00:00:10	0	RO	4620201	110	11
19797505	1802	3672	45.6	-73.58	0	1	04/11/16 13:39:54	010100002080	0	00:00:06	0	RO	4620201	110	11

--> Début

--> Fin

De plus, les couleurs dans le tableau permettent d'identifier les catégories de colonnes des tables GPS dans leur format final telles que décrites à l'étape précédente. Ainsi, les colonnes jaunes sont les colonnes originales de la table GPS, le gris représente la colonne de géométrie ajoutée, en vert les informations calculées par rapport au point précédent et en bleu, les informations de localisation du point selon différentes délimitations administratives.

Une fois toutes les courses extraites des tables GPS, il faut pouvoir rejeter les courses qui ne sont pas valides. En effet, bien qu'il soit difficile d'expliquer pourquoi, de nombreuses courses identifiées par cette méthode (changement de statut du dôme) présentent des caractéristiques qui ont peu de sens : courses de plusieurs heures, courses de quelques secondes, temps et distance qui ne correspondent pas. La difficulté réside dans l'identification des distances, durées et vitesses seuils à utiliser de façon à distinguer les fausses courses des vraies courses. L'enjeu est toutefois très complexe : à titre d'exemple, un seuil de durée minimal fixé trop haut, par exemple 3 minutes, peut éliminer la majeure partie des « fausses courses », mais aussi éliminer de vraies courses de très courtes durées. Malheureusement, tel que décrit à la section 2.3.5, la littérature présente très

peu d'indications à cet égard. La méthode de nettoyage des courses établie par (Lacombe, 2016) ne discrimine pas les courses sur leur durée ou leur distance. Elle se contente de supprimer les courses dont la durée ou la distance sont inférieures ou égales à 0. Elle identifie toutefois les limites de cette méthode en observant que pour 1 mois de données de Taxi Diamond, 9% des courses ont une durée inférieure à 1 minute et 7% des courses une distance parcourue inférieure à 100 m. Il importe aussi de rappeler que ces changements de statuts relèvent d'une manipulation du dispositif en place dans le véhicule par le chauffeur. Par exemple, un chauffeur peut se tromper dans le changement de statut et indiquer « en course » plutôt qu'« indisponible », il peut « accrocher » le bouton, il peut activer le statut en course et l'annuler peu de temps après si le client décide qu'il ne souhaite pas effectuer la course finalement. Les raisons sont multiples et impossibles à identifier avec les données disponibles.

Un bon indice pour déterminer ces seuils est d'analyser les distributions des durées, distances et vitesses moyennes parcourues pour ces courses. Le premier critère à fixer concerne la durée minimale des courses. La Figure 4.7 présente la distribution des durées des courses par intervalle de 30 secondes pour les intermédiaires Hochelaga, Coop de l'Ouest et Taxi Diamond.

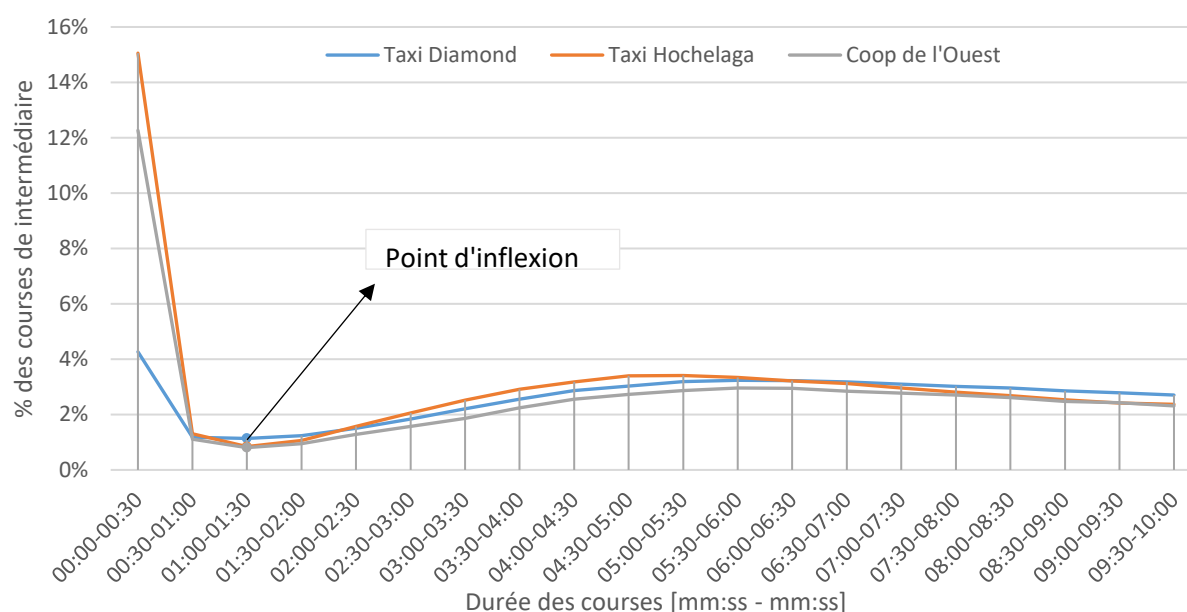


Figure 4.7 : Distribution de la durée des courses de chaque intermédiaire

La figure exprime pour les trois intermédiaires une proportion très élevée de courses dont la durée est inférieure à 30 secondes. Considérant qu'il soit très improbable qu'une course de taxi dure moins de 30 secondes, l'apparence de cette distribution tend donc à confirmer que ces courses

découlent probablement d'une mauvaise manipulation du dispositif à bord ou d'une défectuosité du dispositif. En effet, une analyse plus fine des traces GPS confirme d'ailleurs que ces courses de très courtes durées découlent d'une alternance fautive entre le statut en course et le statut disponible. Toutefois, jusqu'à quelle durée cette hypothèse peut-elle être étendue sans risquer d'éliminer des courses valides ? Le point d'inflexion de ces trois courbes est situé entre 01:00 et 01:30 et peut être un bon indicateur permettant de choisir la durée seuil. La durée minimale seuil est donc établit à 01:30.

Le second critère à établir concerne la distance parcourue. La Figure 4.8 présente la distribution des distances des courses par tranche de 100 m.

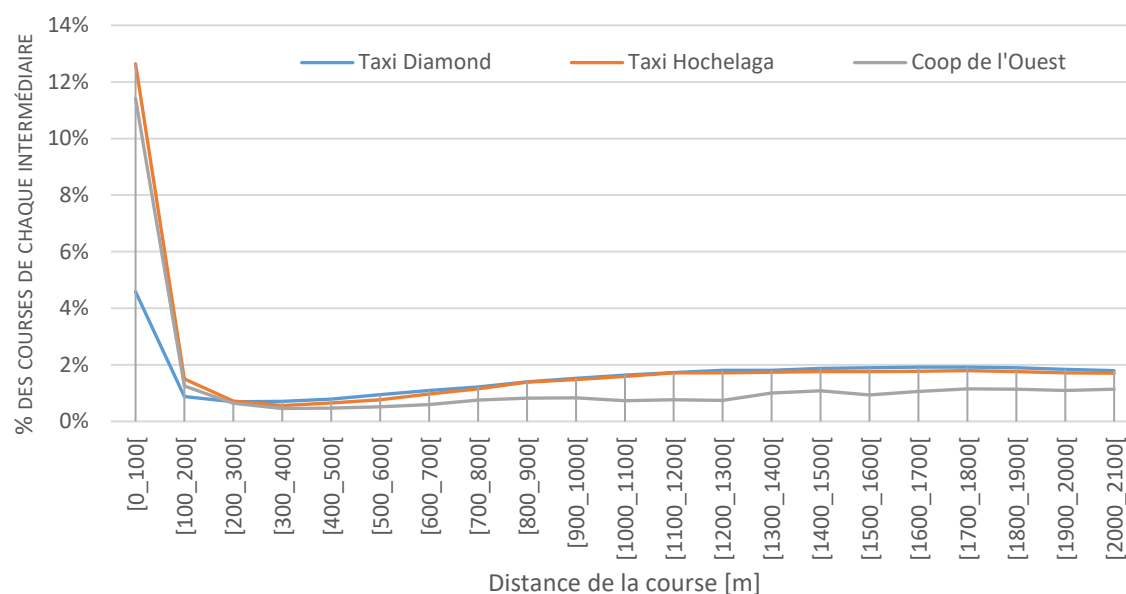


Figure 4.8 : Distribution de la distance des courses brutes de chaque intermédiaire [en mètre]

Tout comme pour la durée, une proportion importante des courses sont d'une distance inférieure à 100 mètres. Dans ce graphique, le point d'inflexion est situé entre 200 et 400 mètres. Le critère de distance minimal est donc fixé à 400 mètres.

Un troisième critère consiste à valider si la durée et la distance d'une course correspondent. En se référant à la vitesse moyenne, il est possible d'éliminer les cas extrêmes qui sont probablement des courses erronées. La Figure 4.9 présente la distribution des vitesses moyennes pour les trois intermédiaires (après nettoyage par les seuils de distance (400 m) et de durée minimale).

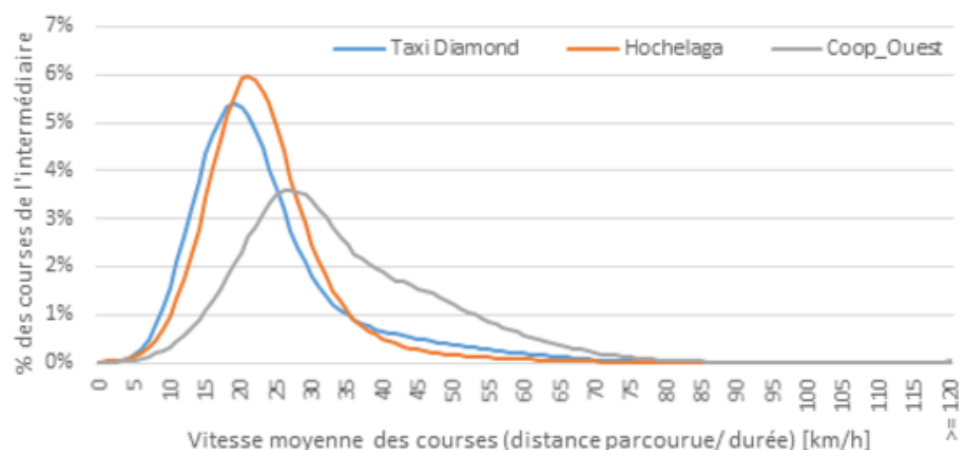


Figure 4.9: distribution des vitesses moyennes des courses pour chaque intermédiaire

Ainsi, pour tous les intermédiaires, 0,25% de leurs courses ont une vitesse moyenne inférieure à 5 km/h. C'est donc cette valeur qui est choisie comme seuil minimal. Pour le seuil maximal, la vitesse maximale tolérée sur les autoroutes au Québec étant d'environ 120 km/h, cette valeur est choisie comme limite maximale.

Un dernier critère consiste à exclure les courses de très longues durées qui sont erronées. En effet, bien que celles-ci soient beaucoup plus rares, elles peuvent tout de même affecter de façon disproportionnée le calcul des indicateurs moyens. Des courses interurbaines (vers Québec, Sherbrooke, Mont-Tremblant et même Toronto) existent et il faut s'assurer de pouvoir préserver celles-ci, car elles représentent un revenu important pour un chauffeur.

Le ratio de la distance voyagee (\sum distance inter points) sur la distance à vol d'oiseau entre l'origine et la destination est utilisé comme critère. Ainsi, les courses dont la durée est supérieure à 1 heure 30 minutes et dont le ratio seuil utilisé est supérieur à 5 sont retirées. Cette limite n'est pas facilement applicable sur des courses à l'intérieur des limites de la ville alors que la tortuosité peut générer un chemin qui n'est pas direct. Ce seuil n'est donc pas étendu à l'ensemble des courses.

Le Tableau 4.9 résume le résultat de ce processus de nettoyage en indiquant le nombre de courses supprimées selon chacun des critères mentionnés.

Tableau 4.9: résultat du traitement des tables de courses

	Coop Ouest		Hochelaga		Taxi Diamond	
Nombre de jours de données	366		362		364	
Traitement	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Nombre de courses brutes 2016	513 915	100 %	796 924	100 %	3 875 011	100 %
Durée < 1min30	72 860	14,2 %	136 912	17,2 %	255 107	6,58 %
Distance parcourue < 400 m	2 733	0,53 %	5 470	0,69 %	35 428	0,91 %
Distance à vol d'oiseau < 200 m	8 407	1,64 %	8 875	1,11 %	29 433	0,76 %
Vitesse moyenne < 5 km/h	423	0,08 %	1 477	0,19 %	4 810	0,12 %
Vitesse moyenne > 120 km/h	21	0,00 %	62	0,01 %	1 611	0,04 %
Durée > 1h30 & ratio distance > 5	179	0,03 %	183	0,02 %	1 845	0,05 %
Nombre de courses restantes 2016	429 692	83,5 %	643 945	80,8 %	3 546 777	91,5 %

Finalement, il importe aussi de noter que la seule journée du 6 novembre 2016 présente un grand nombre d'anomalies par rapport aux courses et aux points GPS. Cette date correspond au retour à l'heure normale d'hiver. L'heure est reculée d'une heure dans la nuit du 5 au 6 novembre et l'heure de 02:00 à 03:00 est en quelque sorte vécue deux fois. Ceci crée un emmêlement de l'horodatage des points GPS alors que des points normalement séparés d'une heure se trouvent l'un à la suite de l'autre. Cette date s'ajoute aux six autres dates exclues des calculs d'indicateurs. Le changement d'heure au printemps ne semble pas causer problème puisque l'heure est avancée, en conséquence il manque une heure dans les données. Le choix est fait de ne pas retirer cette journée pour cette heure manquante.

4.3.3.4 Étape 1.D : Agrégation des tables GPS

En raison de leur taille très importante, toute opération ou requête sur les tables GPS est très coûteuses en temps et en mémoire, et ce même si ces tables sont indexées. Ainsi, la méthode élaborée pour réduire les temps de calcul, principalement des indicateurs, est d'agréger les tables afin d'avoir un aperçu de ce qui se passe pour chaque véhicule durant une période de temps donnée. La période de temps choisie est 5 minutes afin d'avoir un équilibre entre une trop grande perte de précision et l'atteinte de l'objectif de réduire drastiquement l'espace requis et les temps de calcul. Qui plus est, la compression de ces données permet d'avoir une échelle temporelle année / mois pour les tables parentes/enfants permettant le calcul des indicateurs sur l'année complète en une seule requête. Les données agrégées de ces tables sont présentées au Tableau 4.10.

Tableau 4.10 : Informations contenues dans les GPS agrégées aux 5 minutes

Type de Données [Nb de colonnes]	Description/ Précision
Temporalité [7]	Date du jour / heure / période 5 minutes ([0-5[;[5-10[;...;[55-00[) / Isodow (jour de la semaine selon le système international)
Véhicule ID [1]	Identifiant unique du véhicule attribué par l'intermédiaire
Employé ID [1]	Identifiant unique du chauffeur attribué par l'intermédiaire
NB de points GPS [1]	Varie de 1 à 149 (considérant le standard de Fraxion d'un point aux deux secondes)
Vitesse [4]	Moyenne, 25 ^e percentile, 50 ^e percentile, 75 ^e percentile
Localisation spatiale [4]	Zone taxi, arrondissement, secteurs municipaux OD13 et secteurs de recensement principal de la période de 5 minutes
Durée de l'intervalle [1]	\sum des durées entre chaque point GPS
Distance parcourue [1]	\sum des distances entre chaque point GPS
Géométrie [1]	Géométrie multipoints du tracé
Durée par statut [3]	\sum des durées en statut 1, en statut 2 et en statut 0.

Quelques précisions s'imposent sur le calcul de la durée de l'intervalle et de la durée par statut. Le calcul de ces durées pour un véhicule se fait comme la somme des intervalles de temps entre chaque point, ou durée interpoints, de la table GPS. Tout comme pour beaucoup d'autres indicateurs, un seuil doit être utilisé pour s'assurer de préserver uniquement les durées interpoints où le véhicule est réellement en opération. C'est-à-dire que lorsqu'un véhicule se déconnecte, la trace GPS cesse d'être enregistrée et lors de sa reconnexion, la trace GPS recommence à être enregistrée. Il y a donc un premier et un dernier point de chaque connexion au système du véhicule. Il faut s'assurer que l'intervalle de temps entre le premier point d'une connexion et le dernier point de la connexion précédente ne soit pas calculé dans la durée en d'opération. Si le système était parfait, ce ne serait pas un problème et le seuil pourrait être fixé seulement quelques secondes au-dessus de la fréquence normale de collecte des points GPS par le dispositif (section 4.2.1). Toutefois, des analyses fines des données ont révélés qu'une perte du signal GPS entraîne aussi un arrêt dans l'enregistrement des données. À titre d'exemple, si le taxi emprunte l'autoroute Ville-Marie, le dispositif GPS perdra le signal avec les satellites créant ainsi un trou de plusieurs minutes dans les données. Ces minutes doivent toutefois être comptabilisée dans la durée d'opération du véhicule. En somme, pour éviter de sous-estimer la durée réelle d'opération, un seuil de déconnexion ou perte de signal accidentelle est fixé à 10 minutes. Un intervalle entre deux points GPS successifs

plus long que ce seuil n'est pas comptabilisé dans le calcul de la durée en service ou de la durée par statut.

Finalement, les gains en espace disque et en nombre de lignes découlant de cette agrégation sont présentés pour les trois intermédiaires au Tableau 4.11.

Tableau 4.11 : Réduction de la taille et du nombre de lignes des tables GPS suite au processus d'agrégation aux 5 minutes

	Coop Ouest		Hochelaga		Taxi Diamond	
Nombre de jours de données	366		362		364	
Traitement	NB de lignes	Taille (GO)	NB de lignes	Taille (GO)	NB de lignes	Taille (GO)
Tables GPS	722 975 542	175,2	1 755 579 352	452,3	526 484 679	135,8
Tables aux 5 minutes	8 256 240	67,2	22 265 552	174,1	53 417 315	35,9
Facteurs de réduction	87,6	2,6	78,9	2,6	9,9	3,8

4.4 Méthode de pondération des permis

L'un des objectifs de ce mémoire est de pouvoir calculer des indicateurs de suivi de l'offre et de la demande de taxi sur l'ensemble du territoire de Montréal. Puisque les données actuellement disponibles à des fins de recherche proviennent de seulement trois intermédiaires en service représentant environ 40 % des taxis sur l'Île, il faut procéder à une pondération des taxis de l'échantillon. Dans le cas présent, cette pondération consiste à attribuer à chaque permis un facteur d'expansion qui permettra ainsi de représenter l'entièreté des permis et de leurs activités sur le territoire. Une méthode simpliste serait de calculer un facteur unique pour tous les permis en divisant le nombre total de permis autorisés par la CTQ par le nombre de permis uniques recensés dans les données. Toutefois, il existe une variation mensuelle du nombre de permis associés aux trois intermédiaires puisqu'un propriétaire de taxi peut décider à tout moment de faire affaire avec un autre intermédiaire. De plus, le nombre officiel de permis par agglomération est aussi sujet à une variation temporelle. Les chiffres fournis par le BTM le sont sur une base mensuelle. Dans son mémoire Lacombe (2016) procède à une pondération mensuelle des permis selon la formule suivante :

$$\text{facteur d'expansion} = \frac{\text{nombre total de permis (BTM)}}{\text{nombre total de permis observés pour chaque mois}}$$

Elle mentionne aussi qu'une pondération par agglomération serait pertinente sans toutefois y recourir, étant limitée aux données de Taxi Diamond dont la grande majorité des activités ont lieu dans l'agglomération A-11. La disponibilité des données de Coop de l'Ouest, actif dans l'agglomération A-12, et de Taxi Hochelaga, actif dans les agglomérations A-11 et A-05 rend aujourd'hui possible cette pondération par agglomération.

De plus, deux critères de pondération sont ajoutés de façon à raffiner l'estimation des indicateurs. Le premier est la prise en compte du permis d'aéroport. Ainsi, tel que décrit à la section 3.1.5, ces permis octroyés par l'Aéroport de Montréal permettent à leur propriétaire de prendre des courses sur le territoire de l'aéroport. Considérant la valeur d'un tel permis (3600 \$ taxes en sus) et le potentiel de courses payantes que représente l'aéroport avec sa tarification spéciale, il est raisonnable de croire que son détenteur effectuera un nombre important de courses à l'origine de l'aéroport. Un taxi muni d'un permis aéroport n'aura donc, a priori, pas le même comportement qu'un permis régulier.

Le deuxième critère est l'identification des permis restreints qui représente environ 5 % de tous les permis en activité sur le territoire de Montréal. En effet, ces permis sont associés à des véhicules équipés pour du transport de personnes à mobilité réduite et effectuent principalement du transport adapté pour la STM ou via des contrats privés avec des institutions de santé. Ces véhicules ne sont pas autorisés à prendre des clients sur la rue (courses hélées). Ainsi, les services offerts par ce type de permis diffèrent donc sensiblement de ceux offerts par les permis réguliers. Afin de ne pas fausser l'estimation de certains indicateurs, il est plus judicieux d'exclure ces véhicules de l'estimation de tous les indicateurs et donc du calcul de pondération.

Une fois les permis restreints exclus, une triple segmentation des permis est effectuée soit : temporelle (à l'échelle du mois), spatiale (à l'échelle des agglomérations) et aéroportuaire (oui ou non) de laquelle découlent 72 facteurs de pondération uniques à calculer. Afin d'effectuer cette pondération, il faut toutefois pouvoir identifier l'agglomération associée à chaque permis et déterminer si celui-ci est associée à un permis de taxi d'aéroport.

4.4.1 Méthodologie d'identification du type de permis et de l'agglomération

Les données fournies par les intermédiaires ne contiennent pas les informations sur l'agglomération et le type de chaque permis. Une méthodologie d'identification des agglomérations est donc

élaborée et celle-ci consiste en un ensemble de règles simples basées sur la réglementation du taxi en vigueur à Montréal. La division en agglomération de taxi est en place afin d'assurer un service de qualité sur l'ensemble du territoire Montréalais et en évitant que tous les taxis ne se concentrent au cœur de la métropole, là où les clients sont plus nombreux. Plusieurs articles du règlement du BTM permettent de guider l'élaboration de cette méthode (Ville de Montréal, 2017) :

Article 21 :

« Le chauffeur doit allumer le lanternon et, le cas échéant, son support ou celui de l'espace publicitaire lorsqu'il est en disponibilité de services et se trouve dans l'une des situations suivantes :

1° il circule dans son agglomération;

2° il est stationné à la première place d'un poste d'attente public, privé ou en commun. »

Article 109 :

« Un chauffeur ne peut effectuer une course dont l'origine est située à l'extérieur de l'agglomération pour laquelle le permis est délivré, sauf si la réquisition est faite par appel téléphonique ou par un autre mode de répartition des demandes de transport via un intermédiaire en services ou dans le cadre d'un contrat visé à l'article 143 et dans la mesure uniquement où, ce faisant, il revient dans son agglomération.

Le chauffeur ne peut effectuer une course dont l'origine est située sur le site de l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau de Montréal à moins d'être stationné au poste d'attente identifié comme tel, même si la réquisition lui est transmise par appel téléphonique ou par un autre mode de répartition des demandes de transport ou selon un contrat. »

Article 114 :

« Le titulaire de permis de chauffeur qui utilise à des fins personnelles l'automobile attachée au permis doit, s'il en est requis, établir que l'automobile n'est pas en service. »

Ainsi, se basant sur ces articles, principalement l'article 109, les hypothèses suivantes sont posées concernant le comportement des taxis réguliers :

1. Un taxi devrait débiter la majorité de ses courses dans son agglomération;
2. Un taxi devrait passer la majorité de son temps dans son agglomération;
3. Un taxi devrait passer la majorité de son temps en statut « disponible » dans son agglomération;
4. Un taxi ne devrait pas effectuer de courses dont l'origine et la destination sont hors de sa zone;
5. Un titulaire d'un permis d'aéroport devrait effectuer un nombre significatif de courses débutant à l'aéroport et inversement un taxi n'en détenant pas ne devrait pas effectuer de course depuis l'aéroport.

Il importe de mentionner que les deux premières hypothèses pourraient varier dans le cas d'un titulaire de permis aéroport. En effet, parce qu'il effectue des courses à l'origine de l'aéroport et dont la destination peut être n'importe où, incluant hors de l'île de Montréal, il est probable qu'un détenteur de permis aéroport ne passe pas la majorité de son temps dans son agglomération.

Le point 4 est crucial et est l'élément central de l'identification de la zone du permis. En se concentrant sur les courses intra-agglomération d'un permis, il est possible d'identifier avec un haut niveau de certitude la majorité des permis. Pour ce faire, il faut toutefois exclure les courses depuis l'aéroport de l'équation. Par contre, cette méthode a une limitation importante : pour certains véhicules, les courses ne sont pas identifiables dans les données ou un nombre insuffisant de courses est observé pour pouvoir déduire l'agglomération du permis de cette façon. C'est notamment le cas pour environ 130 véhicules de Taxi Hochelaga qui sont « non-connectés » et pour lesquels aucune course ne se retrouve dans les données GPS (se référer à l'explication présentée à la section 4.2.3). Ces véhicules ne sont pas utilisés dans le calcul des indicateurs mais sont utilisés dans l'analyse de l'utilisation des permis du chapitre 6.

La première étape est donc de calculer les informations nécessaires pour identifier l'agglomération (zone) de chaque permis et la présence d'un permis aéroport. Un dictionnaire des véhicules est créé et les informations suivantes pour chaque véhicule sont calculées :

1. Somme des heures totales en service (tous statuts confondus) dans chaque zone*;
2. Somme des courses à l'origine de chaque zone;
3. Somme des courses dont l'origine est dans la zone restreinte de l'aéroport;
4. Somme des heures où le véhicule est immobile dans la zone restreinte de l'aéroport;
5. Somme des courses intra-agglomération pour chaque agglomération.

*À noter que le temps passé dans la zone restreinte de l'aéroport est exclu du temps passé dans la zone 12.

4.4.1.1 Identification des permis d'aéroport

En raison de l'effet d'un permis d'aéroport sur le comportement d'un véhicule, la première étape consiste à déterminer pour chaque véhicule si celui-ci est associé à un tel permis. Pour ce faire, un seuil sur la proportion des courses débutant à l'aéroport par le véhicule ainsi qu'un seuil sur la proportion du nombre d'heures passées en attente à l'aéroport sont utilisés. La difficulté réside dans l'identification de ces seuils. Un véhicule sans permis d'aéroport devrait passer tout au plus quelques heures annuellement dans la zone restreinte de l'aéroport (le temps de déposer des

clients), ce qui représente un très faible pourcentage de ses heures totales en service. Similairement, un véhicule sans permis d'aéroport n'étant pas autorisé à effectuer des courses depuis la zone restreinte ne devrait effectuer aucune course débutant dans cette zone. Toutefois, comme indiqué la section 3.5.3, une mauvaise manipulation ou un mauvais fonctionnement du dispositif à bord peut générer de « fausses » courses dans les données, et il n'est donc pas possible de supposer que tout véhicule effectuant au minimum une course depuis l'aéroport possède le permis l'y autorisant.

Ainsi, la Figure 4.10 présente tous les véhicules des trois intermédiaires pour l'année 2016 selon la proportion d'heures passées en attente dans la zone restreinte de l'Aéroport de Montréal et le nombre de courses effectuées depuis cette zone. La carte de la zone restreinte est présentée à la Figure 3.2 de la section 3.1.5.

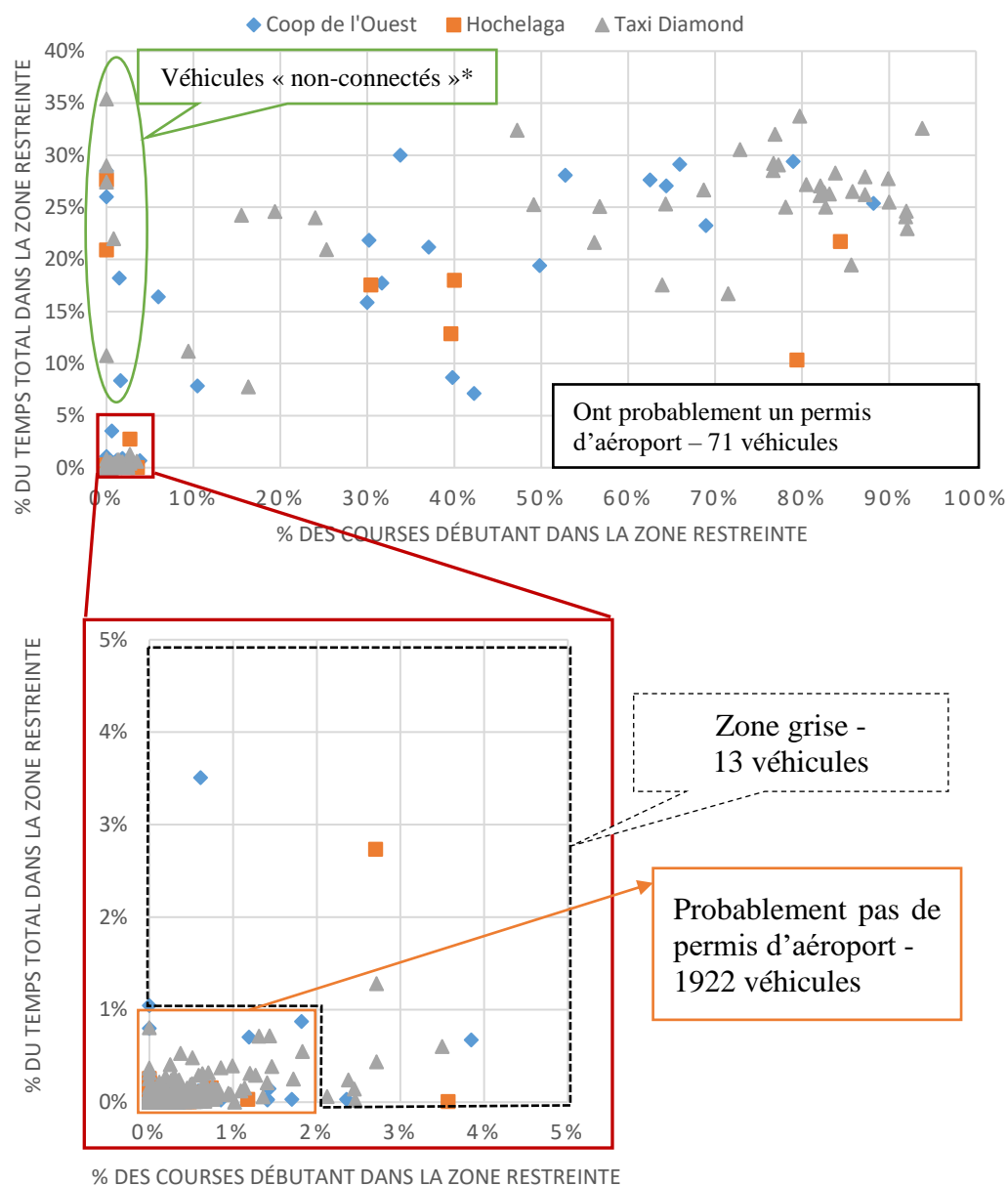


Figure 4.10: Répartition des véhicules selon les courses et le temps passé en attente à l'aéroport

* Il n'est pas possible d'identifier les courses de ces véhicules. Voir section 3.4.3.

Seuls les véhicules ayant effectué plus de 40 heures de service pour l'année 2016 sont pris en compte pour cette analyse. Ainsi, les 71 véhicules hors de l'encadré rouge, soit ceux ayant effectué plus de 5% de leurs courses depuis l'aéroport ou ayant passé plus de 5 % de leurs heures de service totales à être en attente à l'aéroport, peuvent être considérés sans hésitation comme possédant un permis d'aéroport. Inversement, ceux de l'encadré orange ne possèdent probablement pas de permis aéroport. Finalement, la zone grise est la plus problématique. Ces 13 véhicules pourraient

être analysés au cas par cas en prenant en compte d'autres informations telles le nombre total de courses, nombre total d'heures d'opération du véhicule, le nombre de courses à destination de l'aéroport. Toutefois à des fins de simplification et d'automatisation, ceux-ci sont considérés sans permis d'aéroport. Ceci permet d'établir la règle suivante :

Un véhicule dont le temps passé en attente dans la zone restreinte de l'aéroport est supérieur ou égal à 5% de son temps d'opération total est identifié comme ayant un permis d'aéroport.

4.4.1.2 Identification de l'agglomération du permis

Une fois le permis d'aéroport identifié, le schéma décisionnel suivant est appliqué afin d'établir l'agglomération des 2036 permis uniques observés dans les données :

0. Le véhicule a-t-il effectué au moins 8 heures (1 quart de travail) en 2016 ?
OUI : Test 1
NON : Véhicule non-significatif, ne pas attribuer de permis.
1. Le véhicule a-t-il effectué au moins 30 courses dont l'origine n'est pas dans la zone de l'aéroport au cours de l'année 2016 ?
OUI : Test 2
NON : Sauter à l'étape 5
2. L'agglomération ayant le plus de courses internes a-t-elle au moins 40% des courses du véhicule dont l'origine n'est pas l'aéroport ?
OUI : Attribuer le permis à cette zone
NON : Test 3
3. L'agglomération ayant le plus de courses internes est-elle la même que l'agglomération où le véhicule passe le plus temps ?
OUI : Attribuer le permis à cette zone
NON : Test 4
4. Validation manuelle basée sur : l'intermédiaire et l'ordre des agglomérations selon la durée totale en service, la durée en disponibilité, le nombre de courses à l'origine, la durée immobile, la détention d'un permis d'aéroport.
➔ Attribuer le permis
5. L'écart (en % de la durée totale) entre la durée en service dans la l'agglomération 1 et la durée en service dans la l'agglomération 2 est-il $\geq 20\%$?
OUI : Attribuer le permis à cette zone
NON : Test 6
6. Le véhicule a-t-il effectué au moins 40h de service en 2016 ?
NON : Pas assez d'informations. Ne pas attribuer de permis.

OUI : Test 7

7. La zone 1 par durée totale est-elle la même que la zone 1 par durée en statut disponible ?

OUI : Attribuer le permis

NON : Test 8

8. Validation manuelle basée sur : l'intermédiaire, la détention d'un permis d'aéroport et l'ordre des agglomérations selon la durée totale en service, la durée en disponibilité, le nombre de courses à l'origine, la durée immobile.

➔ Attribuer le permis

Suivant cet ensemble de règles, 16 véhicules n'ont pas effectué suffisamment d'heures en service pour pouvoir identifier leur zone. Le reste des résultats de cette méthodologie d'identification est illustré à la Figure 4.11. Le nombre de permis par agglomération et le nombre de permis d'aéroport sont présentés à la section suivante.

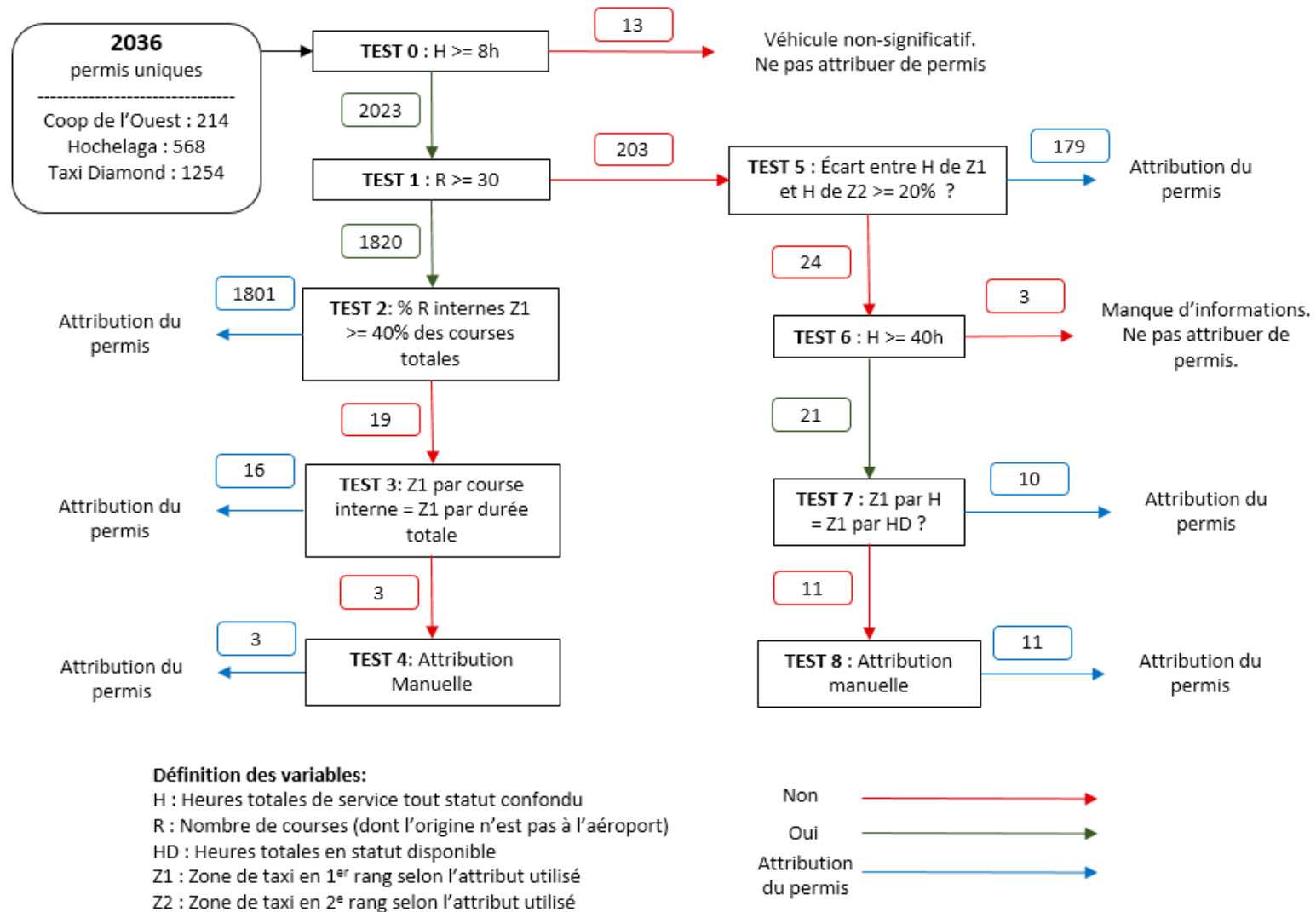


Figure 4.11 : Schéma décisionnel d'identification des permis

4.4.1.3 Identification des permis restreints

La dernière étape consiste à identifier les permis restreints afin de les exclure du calcul de pondération et du calcul des indicateurs. L'identification de ces permis n'est pas triviale, mais peut tout de même être guidée par certaines informations obtenues du BTM et des intermédiaires en service partageant leurs données.

1. Le nombre de permis restreints détenu par chaque intermédiaire

Des communications avec un représentant de Taxi Hochelaga et Taxi Diamond ont permis d'établir que Hochelaga (sous l'appellation Hochelaga Adapté) avait le plus gros parc de permis restreints à Montréal avec environ 67 permis dans la zone A-11 et 11 permis dans la zone A-05. Ces chiffres sont de l'été 2017 et sont donc une approximation pour estimer les permis actifs pour Hochelaga en 2016. De son côté, Diamond (sous l'appellation Diamond Accessible) possède environ 48 permis restreints dans la zone A-11. Aucune information n'est connue pour Coop de l'Ouest. Toutefois, puisque seuls deux intermédiaires en service desservent la zone A-12, Diamond de l'Ouest et Coop de l'Ouest, il est fort probable que les 7 permis restreints autorisés par la CTQ dans A-12 soient affiliés à Coop de l'Ouest.

2. Le taux d'utilisation élevé du statut : non-disponible ou hors-service

D'après les données GPS, un nombre important de véhicules de Taxi Hochelaga et, dans une moindre mesure, de Coop de l'Ouest, indiquent être en statut 2 : non-disponible une grande majorité de leur durée en service. Pour Taxi Diamond, la même observation peut être faite pour le statut 1 : Hors-Service. Pour cet intermédiaire, l'utilisation du statut 2 : non-disponible est beaucoup plus rare alors que 98% de ses véhicules passent moins de 15 % de leur temps d'opération en statut non-disponible. En l'absence d'un statut indiquant : en course de transport adapté, l'hypothèse est posée qu'un chauffeur effectuant une course de transport adapté indiquera au système être non-disponible ou hors-service. La Figure 4.12 présente le pourcentage de véhicules de Coop de l'Ouest et Taxi Hochelaga selon la proportion du temps passé en statut non-disponible.

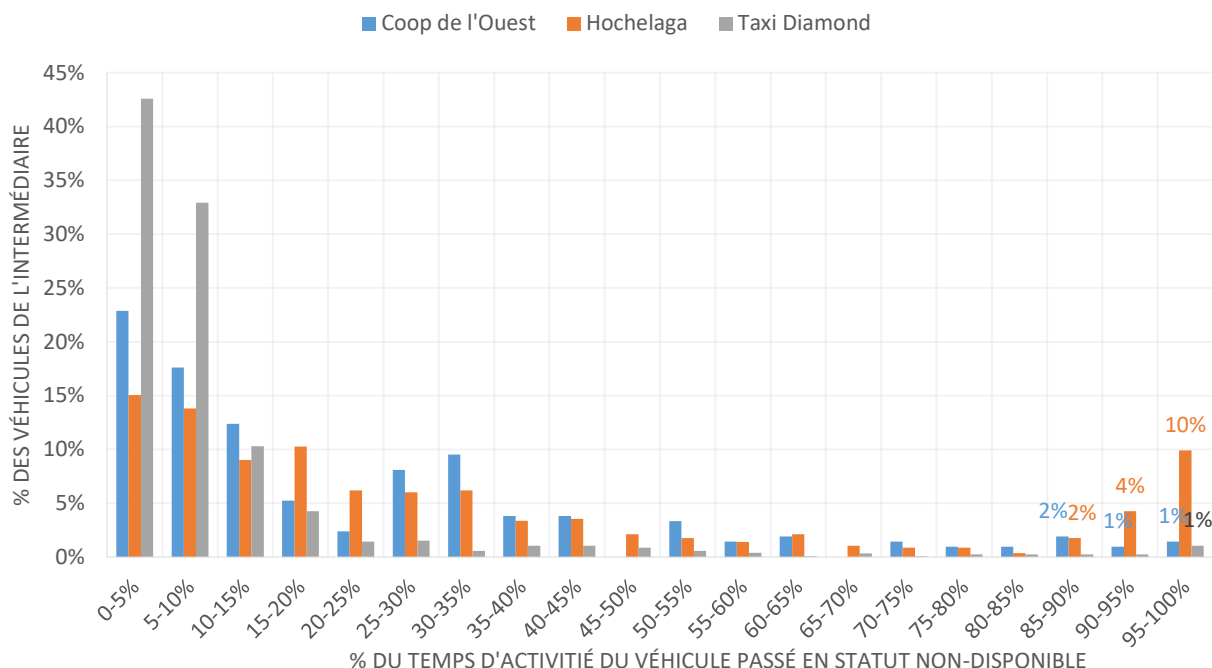


Figure 4.12 : Proportion des véhicules des intermédiaires selon le % du temps d'activité passé en statut non-disponible ou hors-service

Ainsi, dans le cas de Taxi Hochelaga, 16% (90 véhicules) de ses effectifs passent plus de 85% de leur temps d'activité à être non-disponible. Cette proportion est moindre pour Coop de l'Ouest avec seulement 4,3% (9 véhicules), mais correspond tout de même au nombre officiel de permis restreints pour la zone A-12 (7 permis). Pour Taxi Diamond, ce sont 19 véhicules, soit 1.5 % de ses effectifs totaux.

3. Le nombre très faible de courses identifiées dans les données

En raison de leur rôle, ces taxis effectuent peu de courses réparties par téléphone et ne peuvent pas non plus effectuer de courses hélées. Des discussions avec des représentants de Taxi Hochelaga ont permis d'établir que toutes les courses de transports adaptées pour la STM ou autres organismes qui sont commandées plus de 24 heures à l'avance ne se retrouvent pas dans les tables données. Ainsi, en analysant le nombre moyen de courses par jour actif et la part du temps de chaque véhicule passé en statut non-disponible ou hors-service, il est possible d'identifier un groupe particulier.

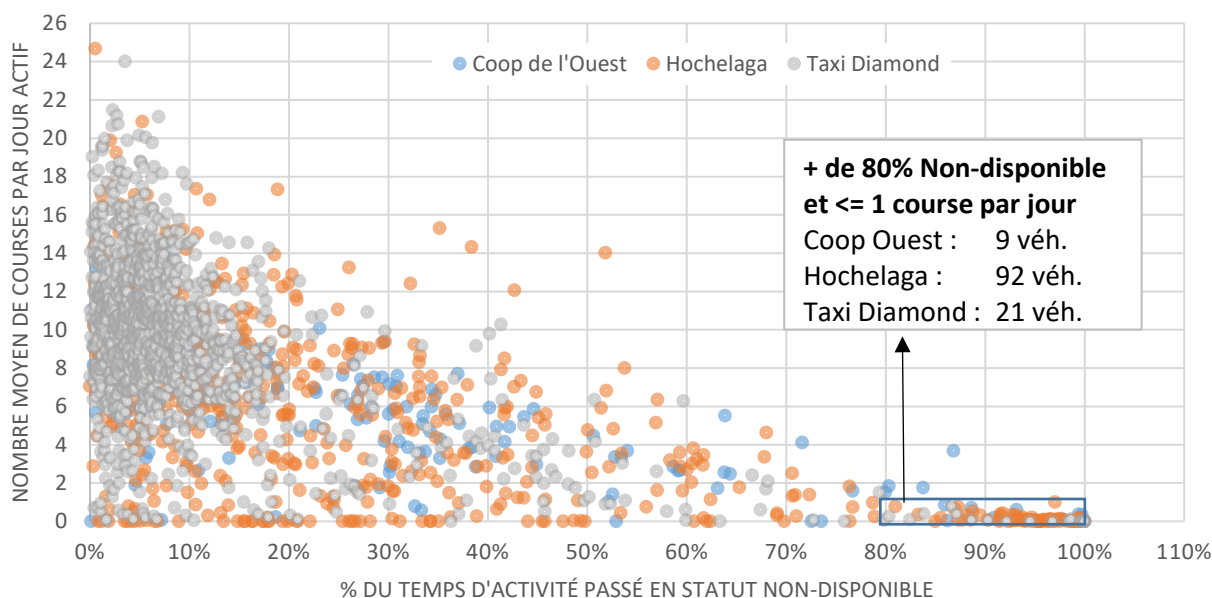


Figure 4.13 : Nombre moyen de courses par jour actif en fonction de la proportion du temps passé en statut non-disponible (Fraxion) ou hors-service (Diamond)

À la lumière de ces données, des seuils simples sont utilisés afin d'identifier les permis restreints des trois intermédiaires. Ainsi, si les deux critères suivants sont respectés :

1. La proportion du temps total d'opération du véhicule en statut non-disponible est supérieure ou égale à 80%;
2. Le nombre moyen de courses par jour actif est inférieur ou égal à 1.

Alors le type restreint est attribué au permis du véhicule.

Suivant ces critères, 122 permis restreints sont identifiés répartis ainsi : 9 pour Coop de l'Ouest dans la zone A-12, 5 pour Hochelaga dans la zone A-05 et 87 pour Hochelaga dans la zone A-11 et pour Diamond, 1 dans la zone A-05, 1 dans la zone A-12 et 19 dans A-11. En somme, cette méthode n'est pas idéale, car elle ne semble pas en mesure d'identifier tous les permis restreints, mais elle identifie toutefois les plus certains ou ceux dont le comportement s'apparente le plus à un véhicule effectuant beaucoup de courses de transport adapté.

4.4.2 Calcul de pondération

Suivant la méthodologie de la section précédente, le nombre de permis réguliers par agglomération (avec et sans permis d'aéroport) pour chaque intermédiaire est présenté au Tableau 4.12.

Tableau 4.12 : Résultats de l'identification des agglomérations des permis, par intermédiaire

Intermédiaire	A-05	A-11	A-12	Total	Restreints	Hors-Montréal ¹	Non-attribué
Coop de l'Ouest	0	0	201	201	9	0	4
Hochelaga	85	387	0	472	92	1	3
Taxi Diamond	1 ²	1164	40	1 205	21	19	9
Total	86	1551	241	1 878	122	20	16

¹ Il a été confirmé que 17 taxis de l'agglomération A-23 : Beloeil sont affiliés avec Taxi Diamond en date de juin 2017. Les deux autres étaient peut-être affiliés avant, mais ne le sont plus.

² Normalement, Taxi Diamond n'est pas autorisé à desservir la zone A-05. Toutefois, tout indique (avec un haut niveau de confiance) que ce permis est bel et bien de la zone A-05.

De plus, 74 véhicules sont identifiés comme détenant un permis d'aéroport sur les 1878 dont le permis fut attribué. La répartition selon les intermédiaires et les agglomérations est présentée au Tableau 4.13.

Tableau 4.13 : Résultat de l'identification des permis d'aéroport réguliers, par intermédiaire et par agglomération

Intermédiaire	A-05	A-11	A-12	Total
Coop de l'Ouest	0	0	19	19
Hochelaga	0	6	0	6
Taxi Diamond	0	35	3	38
Total	0	41	22	63

Aucun permis d'aéroport n'est identifié pour la zone A-05, ce qui signifie que la pondération des permis pour cette agglomération se fera indépendamment de ceux-ci.

Le nombre de permis observés par agglomération, avec et sans permis d'aéroport, doit toutefois être ajusté mensuellement pour tenir compte des permis actifs chaque mois de l'année. Un permis est considéré comme « actif » entre la première et la dernière observation de ce permis dans les données indépendamment de son activité réelle entre ces deux dates. Toutefois, un véhicule sera considéré dans le calcul de pondération d'un mois donné si sa date de fin est supérieure ou égale au 15^e jour du mois et si sa date de début est inférieure ou égale au 15^e jour du mois. Ainsi, un véhicule actif du 14 février au 13 mai sera considéré comme actif et pris en compte dans le calcul de pondération pour les mois de février, mars et avril, mais pas pour le mois de mai.

Pour calculer le facteur de pondération, les chiffres mensuels fournis par le BTM sont utilisés. Pour les permis d'aéroport, ceux-ci sont en vigueur depuis le 15 novembre 2015. Le nombre de permis

aéroport par agglomération provient du communiqué de presse énonçant les résultats du tirage au sort et est encore valide à ce jour. Un exemple de cette pondération pour le mois d'octobre 2016 est présenté au Tableau 4.14.

Tableau 4.14 : Pondération des permis réguliers pour le mois d'octobre 2016

Pondération des permis : Octobre 2016			
Agglomération	Permis réguliers		
	Données	Réel	FEXP ¹
A-05	79	320 ²	4,05
A-11	1296	3627	2,80
A-12	212	214	1,01
SOUS-TOTAL	1587	4161	-
Agglomération	Permis réguliers avec permis d'aéroport		
	Données	Réel	FEXP
A-05	0	41	0.00
A-11	32	217	6,78
A-12	20	52	2,60
SOUS-TOTAL	52	310	-
TOTAL	1639	4430	-

¹ FEXP: Facteur d'expansion

² Puisqu'aucun permis aéroport n'est identifié pour la zone A-05, les permis observés sont pondérés sur l'ensemble des permis réguliers de cette zone (aéroport et non-aéroport) : $(279+41)/79$.

Tel qu'expliqué à la section 4.2.3, certains véhicules, principalement de l'intermédiaire Taxi Hochelaga, ne possèdent pas le dispositif nécessaire pour enregistrer un statut différent lorsqu'ils sont en course. Cela ne signifie pas pour autant qu'ils n'effectuent pas de course. Ainsi, pour calculer tous les indicateurs liés à l'objet course, il est nécessaire d'exclure ces véhicules des calculs. Il faut donc calculer une pondération qui tient compte de l'absence de ces véhicules. Le Tableau 4.15 présente cette pondération pour le mois d'octobre 2016.

Tableau 4.15: Pondération des permis dits « connectés » pour le mois d'octobre 2016

Pondération des permis : Octobre 2016			
Agglomération	Permis réguliers		
	Données	Réel	FEXP
A-05	66	320 ²	4,85 ¹
A-11	1238	3627	2,93
A-12	209	214	1,02
SOUS-TOTAL	1513	4161	-
Agglomération	Permis réguliers avec permis d'aéroport		
	Données	Réel	FEXP
A-05	0	41	0.00
A-11	31	217	7,00
A-12	20	52	2,60
SOUS-TOTAL	51	310	-
TOTAL	1564	4430	-

¹ FEXP: Facteur d'expansion

² Puisqu'aucun permis aéroport n'est identifié pour la zone A-05, les permis observés sont pondérés sur l'ensemble des permis réguliers de cette zone (aéroport et non-aéroport) : $(279+41)/79$.

CHAPITRE 5 INDICATEURS DE SUIVI DE L'INDUSTRIE

L'élaboration de méthodes de calcul des indicateurs de suivi de l'offre et de l'utilisation des taxis est au cœur du travail présenté dans ce mémoire. Tel qu'indiqué à la section 2.4 *Indicateurs d'offre et de demande* de la revue de littérature, le travail présenté ici fait suite à ce qui fut élaboré par Lacombe dans son mémoire présenté en août 2016. Ce cinquième chapitre vise à répondre aux principaux défis que pose la présentation d'indicateurs de suivi de l'industrie du taxi. Ainsi, la première section traite de l'identification et de l'évaluation de la pertinence des indicateurs. La seconde aborde les défis méthodologiques de calcul depuis les bases de données de plusieurs intermédiaires. La troisième section présente l'identification des échelles temporelles et spatiales d'analyse les plus pertinentes pour chaque indicateur dans le contexte d'un tableau de bord. La quatrième section traite de la présentation et de la visualisation des résultats en décrivant l'architecture d'un tableau de bord interactif permettant l'analyse et le suivi de ces indicateurs. Finalement, la cinquième section présente et analyse les résultats du calcul des indicateurs clés de l'offre, de la demande et des objets du système.

5.1 Identification et classification des indicateurs

La première étape dans l'élaboration d'un tableau de bord de suivi des activités du taxi est l'identification des indicateurs. Cette première étape est en partie présentée à la section 2.4 dans une synthèse des indicateurs identifiés et calculés par (Lacombe, 2016). Ainsi, l'auteure classe ces indicateurs selon quatre objets d'analyse : la course, le taxi, le chauffeur et le poste d'attente. Elle catégorise ensuite ces objets selon qu'ils appartiennent à l'offre ou à la demande.

Il est plutôt suggéré ici de mettre le focus sur l'offre et la demande et sur la relation entre les deux à travers la présentation d'indicateurs généraux. L'analyse des objets (véhicules et chauffeurs) vient compléter ces indicateurs avec des statistiques spécifiques par objet. À titre d'exemple, Lacombe présente des cartes de disponibilité de l'ensemble des véhicules sous l'onglet « véhicule » alors qu'ici, une telle carte est classée dans une section libellée « description de l'offre ». Dans la présente catégorisation, les indicateurs sur les véhicules se limitent aux statistiques descriptives par véhicule tels le nombre d'heures de service par véhicule par jour, le nombre de courses par véhicule, mais aussi les distributions de telles statistiques, par exemple, la distribution des véhicules selon le nombre d'heures d'activité. De plus, un cinquième angle d'analyse est suggéré ici : celui

des agglomérations des permis de taxi. Bien que certains indicateurs liés aux zones soient déjà présentés dans les sections de l'offre et de la demande (nombre de courses / agglomération par exemple), la relation entre les zones n'est pas analysée dans ces sections. De plus, une zone spécifique de grand d'intérêt et n'ayant jamais été analysée auparavant mérite d'être étudiée plus en profondeur, soit l'Aéroport de Montréal.

Ainsi, cette nouvelle classification des indicateurs se décline en sept catégories, avec les principales questions par catégorie. Ainsi, les indicateurs et les choix de représentation de ces indicateurs sont établis de façon à répondre le plus directement possible à ces questions.

1. Demande

Où et quand se manifeste la demande et comment est-elle décrite (durée, distance, prix) ?

2. Offre

Où et quand se répartit l'offre ?

3. Comparaison de l'offre et de la demande

L'offre de taxis répond-elle à la demande équitablement dans le temps et dans l'espace ?

4. Véhicules

Comment sont utilisés les véhicules ? Comment répondent-ils à la demande ? Combien de chauffeurs utilisent les véhicules ?

5. Chauffeurs

Quel est le comportement des chauffeurs ? Quelle est leur productivité (heures travaillées, revenus, nombre de courses, etc.) ?

6. Postes d'attente

Quels sont les postes d'attente les plus achalandés du point de vue de la demande ? De l'offre ?

7. Zones

Quelle est la demande interzone ? Intrazone ?

Comment se décrivent la demande et l'offre à l'aéroport ?

Le choix d'un indicateur est aussi lié à forme qu'il prendra. Lacombe cible quatre formes possibles d'analyse des indicateurs. La Figure 5.1 reprend l'illustration de ces formes par Lacombe.

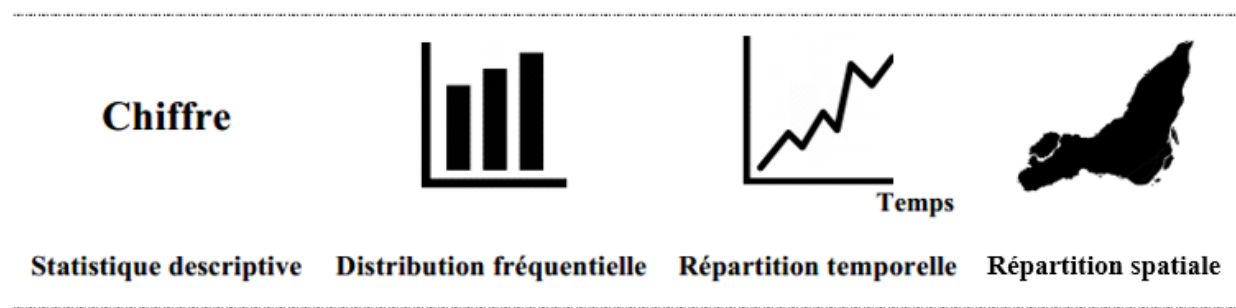


Figure 5.1 : Formes d'analyse des indicateurs, tiré de (Lacombe, 2016), p.51, Figure 4-6.

La statistique descriptive est la forme de base d'un indicateur, c'est-à-dire une valeur moyenne agrégée sur la période analysée. Cette moyenne peut s'accompagner du coefficient de variation ou de l'écart-type permettant d'avoir une idée de la dispersion des données. Par exemple, le nombre moyen de courses par jour par chauffeur peut-être de 10, avec un écart-type de 3, ce qui signifie que 68,2 % des chauffeurs effectuent entre 7 et 13 courses par jour.

La distribution fréquentielle vise à illustrer comment une statistique se distribue dans la population étudiée. Reprenant l'exemple précédent, un histogramme de la distribution fréquentielle permet d'illustrer la distribution du nombre de courses par jour dans la population de chauffeur. Ceci permet de répondre à la question : combien de chauffeurs font combien de course par jour ou encore quelle proportion des chauffeurs effectue quelle proportion de l'ensemble des courses.

La répartition temporelle pour sa part représente une illustration dans le temps d'une succession d'indicateurs ou de statistiques descriptives en fonction du temps. Toujours avec le même exemple, le nombre moyen de courses par chauffeur par jour pourrait être représenté pour une semaine moyenne de l'année 2016. Il serait ainsi possible d'observer si la valeur moyenne varie selon le jour de la semaine.

Finalement, la carte vise à illustrer la répartition géographique des données. Cette fois-ci, l'exemple du nombre moyen de courses par chauffeur s'applique moins bien puisque les chauffeurs n'ont pas une localisation fixe. Ainsi, dans le cas des indicateurs de taxi, cette forme d'illustration est plus adaptée pour illustrer des statistiques agrégées sur l'ensemble de la flotte. Ainsi, le nombre de courses par jour débutant dans chaque secteur de recensement peut être représenté sur une carte de l'île de Montréal, permettant alors d'observer la dispersion géographique de la demande de déplacement par taxi.

Les indicateurs et les formes d'analyse choisies pour chaque catégorie sont décrits au Tableau 5.1.

Tableau 5.1 : Liste des indicateurs par catégorie et formes d'analyse suggérées

Forme d'analyse	Indicateur
Objet : Demande	
Statistique descriptive	Nombre de courses
	Durée, distance, vitesse et prix moyen des courses
	Matrice OD de la demande (considérant l'aéroport comme une zone)
	% des courses à destination de l'aéroport effectuées par des véhicules équipés de permis d'aéroport
	Temps moyen d'attente des courses commandées
Répartition temporelle	Nombre de courses (par heure de départ)
Répartition spatiale	Origines et destinations
Objet : Offre	
Statistique descriptive	Nombre de véhicules en service
	Nombre de chauffeurs en service
	Véhicule-heures de service offerts
Répartition temporelle	Nombre de véhicules en service selon leur statut
Répartition spatiale	Offre de service et offre de véhicules disponibles
Comparaison de l'offre et de la demande	
Statistique descriptive	Nombre de courses par véhicule-heure de service
Répartition temporelle	Proportion de véhicules en course
	Nombre de courses par véhicule-heure de service
Répartition spatiale	Des courses en véhicules-heures de service par km ²
Objet : Véhicule	
Statistique descriptive	Durée en service et distance moyenne parcourue par véhicule
	Nombre moyen de courses par véhicule
	Nombre moyen de chauffeurs par véhicule
Distribution fréquentielle	Distances et durées par véhicule (selon le statut)
	Nombre de courses par véhicule
	Véhicules selon le nombre de chauffeurs les conduisant
Objet : Chauffeur	
Statistique descriptive	Nombre de courses par chauffeur
	Revenu horaire moyen par chauffeur
	Durée moyenne des quarts de travail
	Proportion du temps passé à un poste d'attente
Distribution fréquentielle	Heures de travail par chauffeur
	Nombre de courses par chauffeur
	Revenus par chauffeur

Tableau 5.1 : Liste des indicateurs par catégorie et formes d'analyse suggérées (suite)

Forme d'analyse	Indicateur
Répartition Temporelle	Débuts et fins de quarts de travail
Objet : Poste d'attente	
Distribution fréquentielle	Véhicules-heures disponibles par poste d'attente
	Nombre de courses débutant par poste d'attente
Répartition spatiale	Véhicules-heures disponibles par poste d'attente
	Nombre de courses débutant par poste d'attente

5.2 Synthèse des méthodes de calcul des indicateurs et défis

Plusieurs défis accompagnent le calcul des indicateurs depuis les données de taxi. Le premier défi provient de la diversité des sources de données. Ainsi, la méthodologie de calcul des indicateurs doit être développée de façon à intégrer les données de plusieurs intermédiaires qui, comme indiqué à la section 4.2, ont des formats différents.

Le second défi est celui de la validité des données disponibles. À titre d'exemple, que vaut un indicateur du nombre de courses si la moitié des courses observées dans les données sont dues à des erreurs dans la collecte des données ? À ce titre, la méthode de traitement des données présentée à la section 4.3.3 détaille les mesures prises afin d'assurer la validité des courses et des points GPS utilisés. Ces méthodes ne permettent toutefois pas de corriger toutes les erreurs et c'est pourquoi les prochaines sous-sections présentent les limitations des principales catégories d'indicateurs.

Le troisième défi découle de la présence de permis restreints dans les données et de courses de transport adapté. Ainsi, malgré l'exclusion d'environ 122 permis restreints pour les trois intermédiaires, une trentaine de permis restreints de Taxi Diamond sont toujours dans l'échantillon de taxis utilisés pour le calcul des indicateurs. De plus, l'impossibilité d'identifier dans les données les courses de transport adapté et les courses de taxi collectif pour la Société de transport de Montréal (STM) effectuées par les véhicules (restreints et réguliers) affecte de nombreux indicateurs de demande, d'offre et des objets véhicules et chauffeurs. Les détails des limitations découlant de cette importante contrainte sont aussi présentés dans les sous-sections ci-dessous pour chaque indicateur affecté.

5.2.1 Défis des indicateurs liés aux courses

Pour calculer les indicateurs liés à la demande, il s'assurer de la validité des courses observées dans les données. Une méthode de validation des courses, basée sur des distances, durées et vitesses seuil est décrite à la section 4.3.3.3. Cette méthode a permis d'éliminer une proportion de courses identifiées comme non valides atteignant 11 % des courses brutes de l'ensemble des intermédiaires étudiés. Ces courses, en grande majorité des courses de très courtes distances et durées, auraient influencé significativement les statistiques descriptives de la demande ainsi que les indicateurs qui dépendent du nombre de courses. Cependant, si les courses erronées peuvent être retirées des calculs, les courses non enregistrées, elles, ne peuvent être rajoutées. Mais comment savoir s'ils manquent des courses en premier lieu ?

Une partie du problème est résolue pour les véhicules dont aucune course n'est observée dans les données. Ainsi, tel que décrit à la section 4.2.3, pour les intermédiaires utilisant le système Fraxion, certains véhiculent ne possèdent pas le dispositif nécessaire permettant l'utilisation du statut « en course ». Ce nombre de véhicules diminue avec le temps au fur et à mesure que les dispositifs adéquats sont installés à bord. Ainsi une date de connexion est identifiée, soit la date où la première course pour un véhicule est observée et à partir de laquelle ce véhicule peut être pris en compte dans le calcul des indicateurs de courses.

Une pondération particulière qui prend en compte cette réalité est d'ailleurs utilisée et décrite à la section 4.4.1.3.

La question est beaucoup plus complexe pour les véhicules présentant seulement quelques courses réalisées en plusieurs mois d'activités. Le dispositif de changement de statut fonctionne-t-il correctement ? Le chauffeur utilise-t-il le dispositif adéquatement ? Ces questions sont légitimes au regard de la distribution présentée à la Figure 5.2

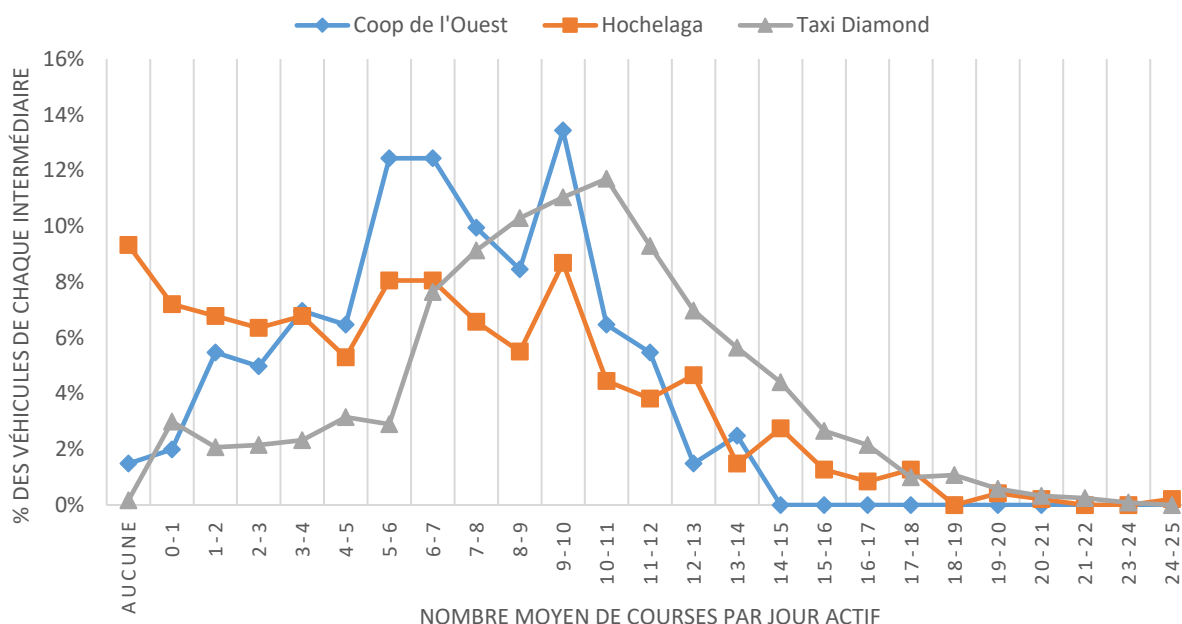


Figure 5.2 : Proportion des véhicules (permis réguliers) de chaque intermédiaire selon le nombre moyen de courses effectuées par jour actif depuis la date de la première course

Ainsi, 6.8 % des véhicules de Taxi Hochelaga effectueraient moins d'une course par jour. Cette proportion est de 2 % pour Coop de l'Ouest et 3.9 % pour Taxi Diamond. En somme, deux hypothèses peuvent expliquer ces statistiques. La première est un mauvais fonctionnement ou une mauvaise manipulation du dispositif par le chauffeur, ce qui signifie que davantage de courses sont en réalité effectuées, mais celles-ci ne sont pas enregistrées. Si cette hypothèse est valide, le nombre de courses effectuées est donc sous-estimé. La deuxième est que les véhicules qui font un très petit nombre de courses par jours sont occupés à offrir d'autres types de service, comme du transport adapté ou du taxi collectif. Cette seconde hypothèse signifie que le nombre de courses effectuées est valide, mais que ces véhicules ne sont pas pour autant vides la majorité du temps, sous-estimant les indicateurs de taux d'occupation des véhicules. Des discussions avec les intermédiaires transmettant les données sont donc requises pour déterminer laquelle de ces hypothèses est la plus probable.

5.2.1.1 Précision sur le calcul des revenus et du prix des courses

Le calcul du prix d'une course à partir des données GPS est une approximation qui dépend de la précision des données. Dans un taxi, le prix est calculé par le taximètre qui mesure la vitesse et la distance à l'odomètre et non pas la vitesse à partir des données GPS. En l'absence des données du

taximètre, la méthode de calcul consiste à appliquer la formule de la tarification officielle d'une course de taxi telle que fixée par la CTQ aux traces GPS des véhicules lorsqu'ils sont en course. La formule officielle de calcul du prix est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{Prix total} = & 3,45 \$ \text{ au démarrage du taximètre} + 1,70 \$ \text{ par kilomètre parcouru} \\ & + 0,63 \$ \text{ par minute d'attente} \end{aligned}$$

Les tables de données GPS fournies par les trois intermédiaires contiennent l'information sur la vitesse instantanée, du véhicule telle que calculée par le dispositif à bord (Tableau 4.1 et Tableau 4.3). Ainsi, pour chaque point GPS enregistré lorsque le véhicule est en course, la vitesse instantanée du véhicule (stockée sous forme d'entier) est comparée avec la vitesse de transition, 22,38 km/h, à partir de laquelle la tarification passe du temps à la distance. Si cette vitesse est inférieure à 22 km/h, l'intervalle de temps depuis le point précédent est multiplié par 0,63 \$ / min. Si la vitesse est supérieure ou égale à 23 km/h, alors la distance en kilomètre depuis le point précédent est multipliée par 1,70 \$. Pour éviter qu'un point erroné, par exemple un point géographiquement très éloigné du reste de la trace, ne vienne affecter de façon notable le calcul du prix, un critère sur la vitesse calculée est utilisé. La vitesse calculée diffère de la vitesse instantanée. Cette vitesse est calculée lors de la préparation des données comme la distance depuis le point précédent divisée par la durée depuis le point précédent. Cette vitesse seuil est fixée à 250 km/h, au-dessus de laquelle, le point de données n'est pas comptabilisé dans le calcul du prix. Si cette vitesse peut paraître élevée, c'est pour tenir compte de l'imprécision de l'horodatage qui semble être arrondie à la seconde inférieure. Ainsi, si l'intervalle de temps avec le point précédent est de 1.99 secondes, ce sera arrondi à 1 seconde et donc la distance parcourue en 1.99 secondes sera divisée par un temps de 1 seconde dans le calcul de la vitesse. La vitesse estimée sera alors 1.99 fois plus élevée que la vitesse réelle. Ce point n'est pas pour autant aberrant et nécessite d'être préservé. Une part non-négligeable de points GPS a été observée être dans cette situation.

Par la suite, les prix entre chaque point GPS d'une course sont additionnés au tarif de base de 3,45 \$. La dernière étape consiste à appliquer la tarification spéciale en vigueur à l'aéroport. Ainsi pour toutes les courses effectuées entre la zone restreinte de l'aéroport et la zone du centre-ville (Figure 3.2), la tarification fixe de 40\$ vient remplacer le prix calculé. De plus, pour toutes les courses à l'origine de l'aéroport mais ne se destinant pas au centre-ville, le prix est corrigé ainsi :

$$\text{Prix course} = \text{MAX}(\text{prix course}, 17 \$)$$

Cette méthode de calcul du prix d'une course est donc dépendant de la qualité des données GPS et de la fréquence d'enregistrement des points. Plus la fréquence est élevée, plus le calcul du prix sera précis. Considérant les systèmes utilisés par les véhicules de la base de données, le calcul du prix sera plus précis pour Taxi Hochelaga et Coop de l'Ouest que pour Taxi Diamond.

Évidemment, cette méthode n'inclut pas le pourboire qui peut être donné par le client.

5.2.2 Défis liés aux indicateurs d'offre de service des véhicules

La mesure de l'offre de service offert par les véhicules constitue un défi en soit puisqu'elle dépend des statuts possibles des véhicules dans les données GPS. Il convient en premier lieu de préciser la définition de certains termes qui seront utilisés dans la description de l'offre de service. Les définitions théoriques suivantes sont proposées :

Véhicule en opération (temps total d'opération)

Un véhicule est considéré en opération lorsqu'il est connecté au système et que sa trace GPS est sauvegardée dans la base de données.

Véhicule en service (offre de service)

Un véhicule est considéré en service lorsqu'il est utilisé pour sa raison première : offrir du service de taxi à la population. Cette définition inclut: le temps passé en course, le temps disponible pour prendre des clients, le temps de retour à vide vers sa zone, le temps en course de transport adapté, le temps à destination d'un client et tout autre service pouvant être effectué par un taxi (livraison de colis, etc.). Au niveau du chauffeur, ceci correspond aux heures travaillées et ne sont donc pas inclus dans cette définition le temps en pause et le temps d'utilisation du véhicule à des fins personnelles.

Véhicule disponible (offre de taxis disponibles)

Se mesure comme le temps où le véhicule est disponible pour prendre des clients en courses héliées et/ou pour répondre à des demandes de courses envoyées par le répartiteur.

La Figure 5.3 présente un schéma synthèse des définitions de l'offre.

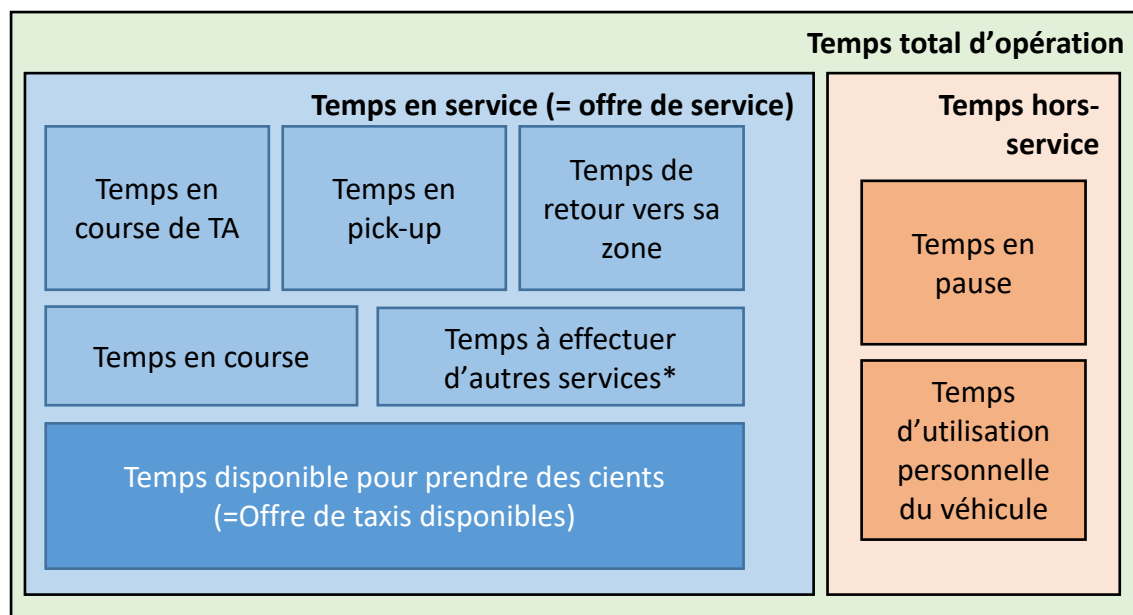


Figure 5.3 : Schéma des définitions d'offre

*Les autres services peuvent inclure : livraison, déverrouillage de portière, etc.

Le calcul de l'offre de service selon la définition énoncée ci-dessus se révèle en réalité être particulièrement complexe puisque les valeurs possibles des statuts dans les données GPS varient d'un intermédiaire à l'autre et sont moins précises que le schéma de la Figure 5.3. Ainsi, la mesure de l'offre de service et de l'offre de taxis disponibles dépend des choix d'utilisation des statuts disponibles sur le dispositif à bord par le chauffeur. Il existe donc une incertitude importante, notamment sur l'utilisation des statuts non disponible et hors service par les chauffeurs. Par exemple, si certains chauffeurs semblent se déconnecter lorsqu'ils prennent une pause ou utilisent le véhicule à des fins personnelles, ce n'est pas le cas pour tous. Se référant aux statuts possibles pour les deux systèmes, les définitions théoriques de l'offre sont calculées en pratique selon la répartition des statuts présentée au Tableau 5.2. Il peut paraître étrange de compter le temps non disponible et hors service comme du temps en service, il semble pourtant qu'au moment d'effectuer une course de transport adapté, les véhicules de Taxi Hochelaga et Coop de l'Ouest utilise le statut non disponible alors que les véhicules de Taxi Diamond utilisent le statut hors service. Par conséquent, même si 122 permis restreints furent retirés des calculs, ceux restants qui ne sont pas identifiés (une trentaine) et les véhicules associés à un permis régulier peuvent aussi faire du transport adapté.

Tableau 5.2 : Statuts considérés pour le calcul des définitions de l'offre

	Statuts considérés pour le calcul	
	Hochelaga et Coop de l'Ouest	Taxi Diamond
Durée totale d'opération	0 : En course 1 : Disponible 2 : Non-disponible 7 : Non-connecté	1 : Hors-service 2 : Non-disponible 3 : Disponible 4 : En course / En pick-up
Temps en service	0, 1 et 2	1, 2, 3 et 4
Temps disponible	1	3

Finalement, le calcul des durées se fait à l'aide des tables GPS agrégées aux cinq minutes. La somme des durées et des durées par statut pour chaque intervalle de cinq minutes est calculée pour chaque véhicule. L'étape 1.D de préparation des données à la section 4.3.3.4 explique comment ces durées aux cinq minutes sont calculées à partir des traces GPS.

5.3 Identification des filtres temporels et spatiaux

L'identification des échelles temporelles et spatiales à utiliser est critique dans la configuration d'un tableau de bord de suivi des activités de taxis. Ces choix dépendent de l'indicateur mesuré et de sa forme. Le Tableau 5.3 présente les niveaux spatiaux et temporels possibles d'analyse des indicateurs. Ces niveaux proviennent de la littérature, de la présentation des indicateurs par Lacombe (2016) et contiennent des ajouts suggérés dans le présent mémoire.

Tableau 5.3: Échelles temporelles et spatiales d'analyse des indicateurs

Période d'analyse	Zone d'analyse
1. Heure / Groupe d'heure	1. Secteur de recensement (SR)
2. Jour	2. Secteur municipal (SM)
3. Semaine	3. Agglomération de taxi (Agglo)
4. Mois	4. Île de Montréal (territoire complet)
5. Saison	
6. Année	

5.3.1 Échelles temporelles

La temporalité d'un indicateur possède deux ou trois niveaux selon la forme de visualisation : la période d'analyse, la fenêtre temporelle et la précision temporelle de la donnée. Ainsi la période

d'analyse est la période sur laquelle les données sont agrégées pour former une valeur moyenne. La fenêtre temporelle est l'échelle temporelle sur laquelle le regard est posé. Finalement, la précision temporelle représente le point de donnée. Il s'agit en d'autres mots de la résolution de l'indicateur. Les combinaisons possibles de ces trois niveaux varient selon la forme de visualisation choisie. Ainsi, la période d'analyse et la précision temporelle s'appliquent aux quatre formes de d'analyse alors que le rôle de la fenêtre temporelle prend tout sens pour la répartition temporelle et a une portée très limitée pour les trois autres formes.

Tout d'abord, la statistique descriptive peut être décortiquée en trois niveaux temporels. Par exemple, la distance moyenne par course peut être agrégée pour la saison hivernale (période d'analyse), pour un lundi moyen (fenêtre temporelle) et avec une précision temporelle pour le groupe d'heure de la période de pointe matinale (7 h à 9 h). Pour cette forme d'analyse, la fenêtre temporelle est toutefois limitée aux jours de la semaine.

Similairement, la carte possède seulement deux niveaux temporels principaux, soit la période d'analyse et la précision temporelle et une possibilité d'utiliser les jours de la semaine comme fenêtre temporelle. Par exemple, le nombre de courses par secteur de recensement peut être analysé pour l'année 2016 (période temporelle) en indiquant le nombre moyen de courses durant l'heure de pointe matinale (6 h à 9 h) (précision temporelle) et représenter seulement les jeudis moyens (fenêtre temporelle).

Les niveaux de temporalité de la distribution fréquentielle se décrivent dans l'exemple suivant. La distribution des chauffeurs selon le salaire horaire moyen par jour ou par groupe d'heure (précision temporelle) sont agrégés sur l'année 2016 (période d'analyse). La fenêtre temporelle, si appliquée, pourrait être une journée de semaine.

Finalement, la répartition temporelle s'exprime vraiment en trois niveaux. Par exemple, dans la littérature, l'analyse des répartitions hebdomadaires de la demande est récurrente, car plusieurs auteurs ont observé que la demande de déplacements par taxi est très dépendante de l'heure de la journée et du jour de la semaine. À titre d'exemple, la Figure 5.4 représente la répartition temporelle des courses de taxi effectuée sur l'île de Montréal pour une semaine moyenne (fenêtre temporelle) de l'année 2016 (période d'analyse). Chaque point de donnée indique le nombre de courses à l'heure (précision temporelle).

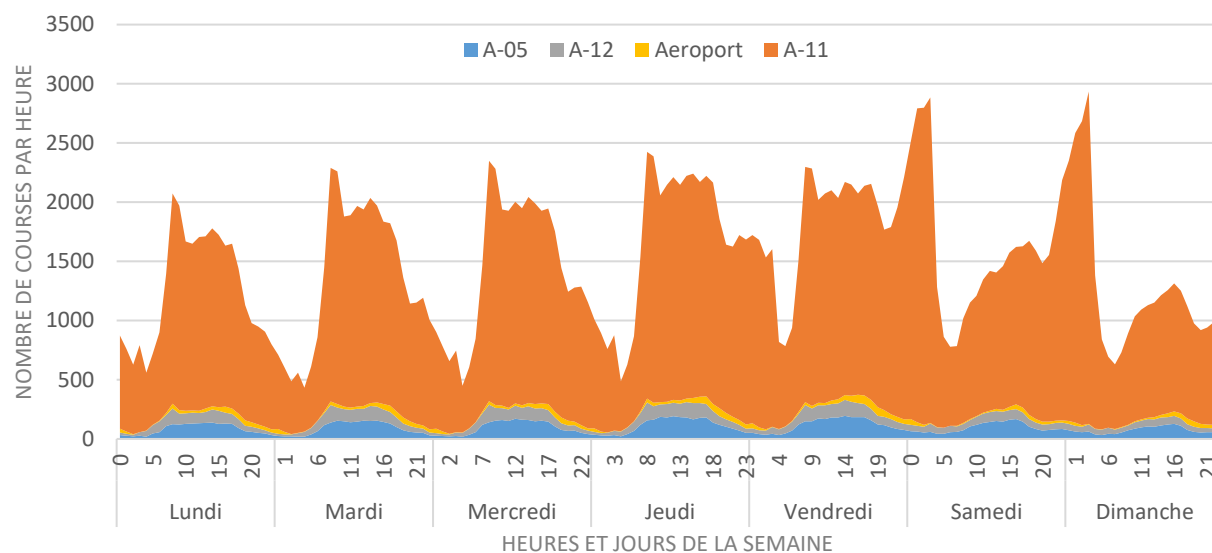


Figure 5.4 : Répartition temporelle du nombre de courses par heure pour une semaine moyenne selon la zone d'origine, 2016

En observant le même indicateur (nombre de courses) mais pour des échelles temporelles différentes, il est possible d'analyser des tendances plus globales, comme l'effet des saisons. La Figure 5.5 en est un exemple. Elle présente la répartition annuelle (fenêtre temporelle) de l'année 2016 (période d'analyse) et les données sont sommées chaque semaine (précision temporelle).

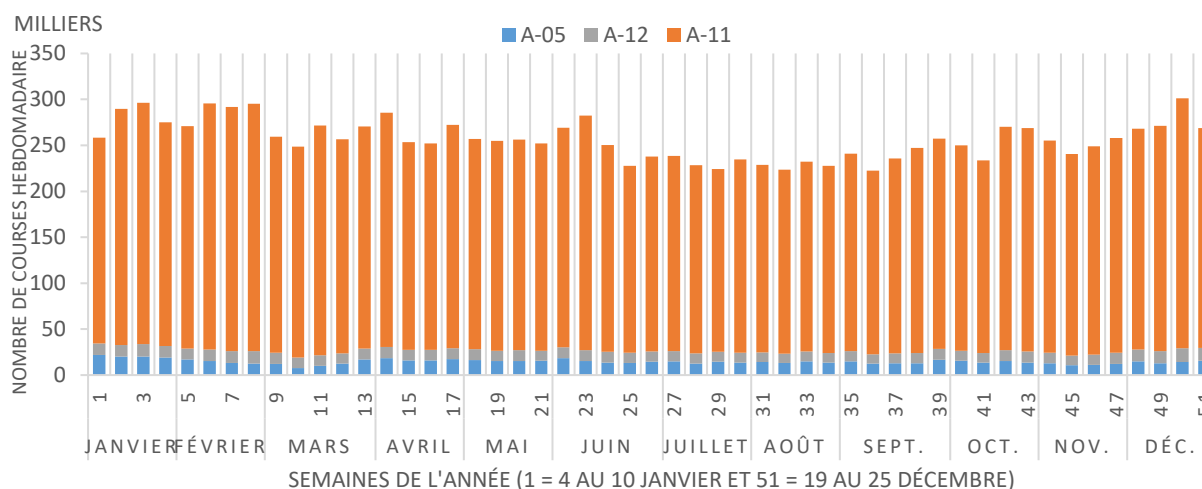


Figure 5.5 : Répartition annuelle du nombre de courses par semaine selon l'agglomération du permis, 2016

5.3.2 Zone d'analyse

La zone d'analyse est importante et est plus intuitive que l'échelle temporelle à trois niveaux. En effet, seule la carte peut posséder deux niveaux géographiques d'analyse. Le premier niveau est la zone d'analyse en soit, laquelle sera généralement le territoire complet ou l'une des agglomérations de taxi. Le second niveau correspond au découpage sectoriel utilisé pour agréger les données : hexagone de 1 km², secteurs de recensement, secteurs municipaux ou agglomérations de taxi. Les trois autres formes de d'analyse des indicateurs possèdent seulement un niveau, soit la zone d'analyse pour laquelle les données sont sélectionnées. Par exemple, la répartition temporelle des courses par heure pour le centre-ville. Un même graphique peut toutefois illustrer plusieurs courbes représentant plusieurs zones d'analyse : le centre-ville, Rosemont, Anjou, etc.

5.3.3 Tableau synthèse des indicateurs et filtres spatiaux et temporels

Les niveaux temporels d'analyse et la zone d'analyse optimale sont choisis pour chaque indicateur selon l'objectif recherché. La période d'analyse sur laquelle est agrégé l'ensemble des indicateurs pourrait être l'année, le mois ou la saison. Dans le prototype du tableau de bord construit sur Excel et présenté dans ce mémoire, la seule période d'analyse choisie est l'année 2016. La fenêtre temporelle est presque toujours le jour de la semaine ou le jour moyen. Pour certains indicateurs, la semaine est aussi utilisée. Finalement, la précision temporelle dépend des indicateurs.

Le Tableau 5.4 liste les options temporelles pour chaque indicateur présenté dans le tableau de bord. À noter que la liste des indicateurs de ce tableau est plus courte que la liste des indicateurs du Tableau 5.1. En effet, dans la version du tableau de bord décrite ici, les objets poste d'attente et agglomération de taxi ne sont pas inclus. Ces objets pourraient être inclus dans une version future et plus complète du tableau de bord. Il suffira de rajouter une page pour chaque objet additionnel à analyser. Dans le Tableau 5.4, il importe de mentionner que pour les cartes, la zone d'analyse est toujours le territoire complet et le choix indiqué dans le tableau représente le découpage sectoriel.

Les abréviations suivantes sont utilisées dans le tableau :

Précision temporelle :

- JDS : Jour de la semaine
- Gr. d'heures : Groupe d'heures

Forme de d'analyse:

- C : Carte
- RT : Répartition temporelle
- SD : Statistique descriptive
- DF : Distribution fréquentielle

Zone d'analyse :

- SM : Secteurs municipaux de l'enquête OD
- SR : Secteurs de recensement (2011)
- Agglo : Agglomérations de taxi

Tableau 5.4 : Liste des indicateurs du tableau de bord par catégorie et échelles temporelles et spatiales suggérées

Forme	Indicateur	Période d'analyse	Fenêtre temporelle	Précision temporelle	Zone d'analyse
Objet : demande					
C	Origines et destinations	Année	JDS / Jour moyen	Jour / groupe d'heure	SM / SR
RT	Nombre de courses (par heure de départ)		Semaine	Heure	Île / Agglo / SM
SD	Nombre de courses		JDS	Jour / groupe d'heure	Île / Agglo / SM
	Durée, distance, vitesse et prix moyen par course			Jour / groupe d'heure	Île / Agglo
Objet : offre					
C	Offre de service et offre de véhicules disponibles	Année	JDS	Jour / groupe d'heure	SM
RT	Nombre de véhicules en service selon le statut		Semaine	15 minutes	Île / Agglo
SD	Nombre de véhicules en service		JDS	Jour	
	Nombre de chauffeurs en service				
	Nombre de véhicules-heures de service				
Objet : comparaison de l'offre et de la demande					
C	Courses par véhicule-heure de service par km ²	Année	JDS	Jour / groupe d'heure	SM / SR
RT	Proportion de véhicules en course		JDS	15 minutes	Île / Agglo
	Nombre de courses par véhicule-heure de service		Semaine	Heure	
SD	Nombre de courses par véhicule-heure de service		JDS	Jour	
Objet : véhicule					
SD	Durée en service et distance moyenne par véhicule	Année	Semaine / JDS	Semaine / Jour	Île / Agglo permis
	Nombre moyen de courses par véhicule		Semaine / JDS	Semaine / Jour	
	Nombre moyen de chauffeurs par véhicule		Semaine	Semaine	Île / Agglo permis
DF	Distances et durées par véhicule		JDS/ Jour moyen	Jour	
	Nombre de courses par véhicule				
	Véhicules selon le nombre de chauffeurs les conduisant				
Objet : chauffeur					
SD	Nombre de courses par chauffeur	Année	Semaine / JDS	Semaine / Jour	Île / Agglo permis
	Revenu horaire moyen par chauffeur				
	Heures moyennes de travail par chauffeur		Semaine	Semaine	
	Nombre de véhicules utilisés par les chauffeurs				
DF	Revenus par chauffeur		JDS / Jour moyen	Jour	
	Durée des quarts de travail par chauffeur				
	Nombre de courses par chauffeur				

5.4 Présentation du tableau de bord avec exemple d'indicateurs

Le tableau de bord suggéré intègre l'ensemble des indicateurs présentés au Tableau 5.4 et permet d'observer les données selon les différentes échelles spatiales et temporelles mentionnées. Le tableau de bord s'ouvre sur une page d'accueil qui contient les statistiques sommaires de l'année étudiée ainsi que le schéma et les liens d'accès à l'ensemble des indicateurs. Chaque catégorie d'indicateurs est contenue sur une page. Il convient de préciser certaines conventions d'affichage qui sont utilisées sur l'ensemble du tableau de bord. Ainsi, une case à cocher de forme ronde indique un choix mutuellement exclusif. Par exemple, le choix de l'année est 2014 ou 2015 ou 2016 ou 2017, mais ne peut être plusieurs années en même temps. Inversement, une case à cocher de forme carrée est un choix additif, comme c'est le cas pour les origines et/ou les destinations ainsi que les jours de la semaine pour les graphiques de répartition hebdomadaire. Les boutons en gris, soient ceux permettant de choisir la zone d'analyse, la période de la journée et le découpage sectoriel et la dimension d'affichage de la carte de la carte (2D ou 3D) sont (par catégorie) des boutons mutuellement exclusifs. Le choix actif est indiqué en gris foncé et les autres en gris pâle. Finalement, les échelles de couleurs des cartes sont choisies selon la méthode de classification des ruptures naturelles (« jenks »). Cette méthode forme des classes de données en tentant de minimiser l'écart à l'intérieur des classes et maximiser l'écart entre les classes (Smith, Goodchild et Longley, 2015).

5.4.1 Page de l'objet : demande

La première page du tableau de bord, Figure 5.6, offre un aperçu de la distribution de la demande dans le temps et dans l'espace.

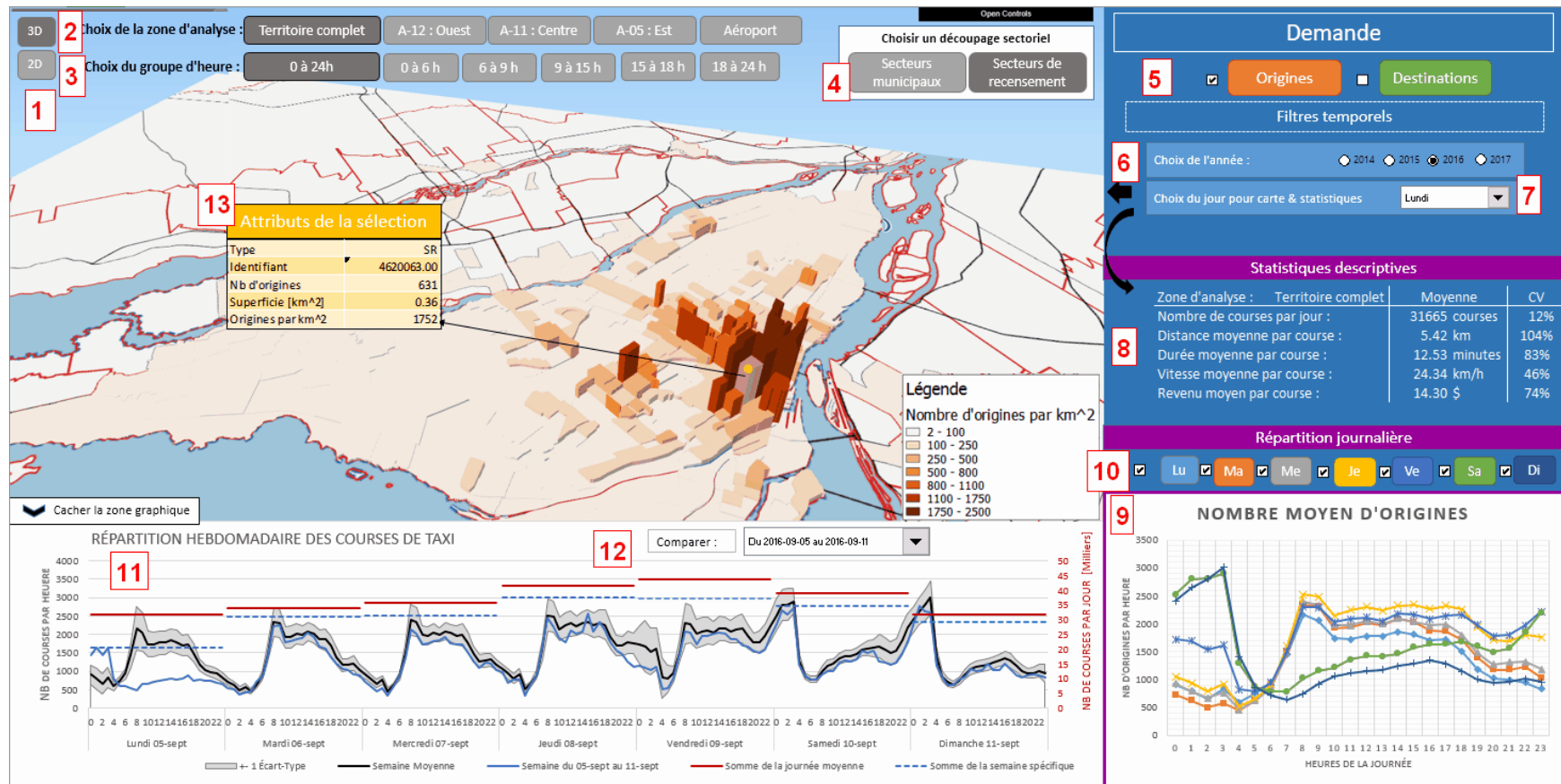


Figure 5.6 : Page du tableau de bord sur la demande

Le design de la page de demande permet d'apprécier les informations concernant les déplacements par taxi selon quatre formes différentes. La partie centrale est la carte qui peut être affichée selon deux découpages sectoriels (4) : le secteur de recensement ou le secteur municipal de l'enquête Origine-Destination 2013. L'utilisateur peut choisir d'observer les origines, destinations ou les deux (5). L'année sur laquelle les données sont agrégées est choisie avec les boutons de la section « filtres temporels » (6) et la carte est affichée selon une fenêtre temporelle au jour de la semaine (lundi au dimanche) (7) et selon le groupe d'heure de la journée (3). Les boutons du haut (2) permettent de choisir la zone d'analyse de l'ensemble des indicateurs de la page. Dans le cas de la carte, un zoom est effectué sur la zone sélectionnée et l'échelle de couleur s'adapte à ce choix de façon à pouvoir observer des différences entre les secteurs des agglomérations A-05 et A-12 qui présentent une demande beaucoup moins importante que le centre-ville. La carte est interactive et un clic sur un secteur permet d'en afficher les statistiques (13). Finalement, la carte peut être visualisée en 2D ou 3D (1).

La deuxième forme de visualisation des indicateurs est la statistique descriptive (8). Ces statistiques sont contrôlées par les mêmes boutons que la carte soit la zone d'analyse (2), le groupe d'heure (3), l'origine et/ou la destination (5) et les filtres temporels (6 et 7).

La troisième forme de visualisation est une répartition journalière moyenne (9). Cette répartition est affectée par les boutons de direction des courses (5) ainsi que par le choix de la zone d'analyse (2) et la période d'analyse (6). Le choix de la fenêtre temporelle (7) ne s'applique pas, car ce graphique possède ses propres boutons (10) permettant de comparer les sept jours de la semaine entre eux. Finalement, la quatrième forme de visualisation est une répartition hebdomadaire (11). Tout comme la répartition journalière, ce graphique s'affiche pour la zone d'analyse choisie (2) et la répartition moyenne est calculée sur la période d'analyse sélectionnée (6). Cette section permet aussi de comparer une semaine spécifique (12) avec la moyenne. Dans l'exemple de la Figure 5.6, la semaine de la fête du Travail est présentée et permet d'observer la différence majeure dans le profil du lundi 5 septembre. En effet, un lundi férié aura un profil de course similaire à un dimanche régulier.

5.4.2 Page de l'objet : offre

La page de l'offre est construite sur le même modèle que celle de la demande. Un exemple est présenté à la Figure 5.7.

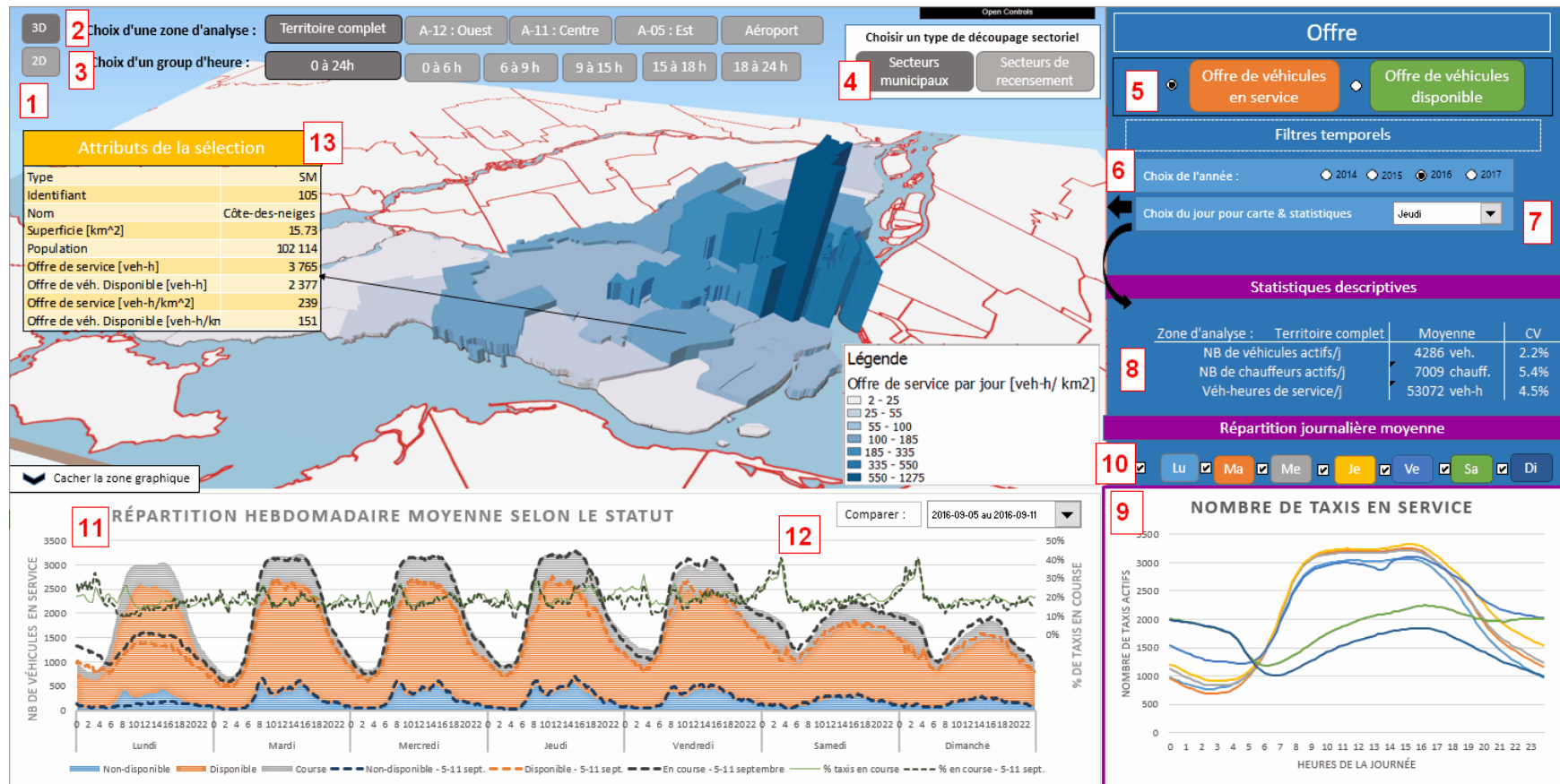


Figure 5.7 : Page du tableau de bord sur l'offre

L'élément principal de la page est la carte permettant de visualiser l'offre de service ou l'offre de véhicules disponibles (tous les deux exprimés en véhicules-heures par km²) (5). Cette carte peut être visualisée en 2D ou 3D (1) et découpée selon les secteurs de recensement (2011) ou les secteurs municipaux (OD 2013) (4). La période d'analyse, l'année, sur laquelle sont agrégées les données (6) ainsi que le jour de la semaine (7) et le groupe d'heure (3) sont choisis comme filtres temporels pour l'ensemble des indicateurs de la page. Le choix de la zone d'analyse (2) permet, comme pour la carte de la demande, d'effectuer un zoom sur le territoire complet, l'une des trois agglomérations de taxi ou l'aéroport. La carte est interactive et un clic sur l'un des secteurs affiche une boîte d'informations sur ce secteur (13). Par la suite, la section des statistiques descriptives donne le nombre de véhicules actifs, le nombre de chauffeurs actifs et l'offre de service offert. Le CV est le coefficient de variation, c'est-à-dire l'écart-type divisé par la moyenne. Ces statistiques sont des valeurs moyennes calculées sur la zone d'analyse (2), la période d'analyse (6) et la fenêtre temporelle (7 et 3) sélectionnées. Ainsi, dans l'exemple de la Figure 5.7, il y a 4286 véhicules actifs par jour sur l'ensemble du territoire pour un jeudi moyen de l'année 2016 avec un coefficient de variation entre ces jeudis de 2.2%.

Par la suite, la répartition journalière en bas à droite (9) permet d'observer le nombre de taxis en service ou disponibles (5) selon les heures de la journée pour les jours de la semaine sélectionnés (10) : les courbes représentent la moyenne des jours de la semaine de la période sélectionnée (6). Le nombre de taxis en service est calculé par période de 15 minutes plutôt qu'aux heures pour une meilleure granularité.

La répartition hebdomadaire (11) présente aussi le nombre de taxis en service par intervalle de 15 minutes, mais cette fois selon le statut des véhicules : en courses, non disponibles et disponibles. Le choix en (5) est donc sans effet sur cette répartition. Le graphique contient aussi une courbe indiquant la proportion de taxis en course exprimée sur un axe secondaire. Un bouton (12) permet de comparer une semaine spécifique de l'année avec la semaine moyenne de la période d'analyse.

5.4.3 Page de comparaison de l'offre et de la demande

La troisième page du tableau de bord permet à l'utilisateur d'observer la relation entre l'offre et la demande dans le temps et dans l'espace à travers quelques indicateurs clés. Cette page suit le même format et offre les mêmes options temporelles et spatiales que les pages de l'offre et de la demande,

et seuls les indicateurs sont différents. La Figure 5.8 donne un exemple de cette page suivant les mêmes choix temporels et spatiaux que les deux pages précédentes. La carte, découpée par secteurs municipaux, illustre le nombre de courses effectuées par véhicules-heure de service offert. La répartition journalière, en bas à droite de la figure, compare les sept jours de la semaine selon le pourcentage de véhicules en course par intervalle de 15 minutes. La répartition hebdomadaire présente le ratio du nombre de courses par véhicule-heure de service offert sur l'ensemble du territoire pour une semaine moyenne de 2016. La précision temporelle de ce graphique est l'heure. Finalement, la section des statistiques descriptives contient le nombre de courses, l'offre en véhicules-heures de service et le nombre de courses par véhicule-heure de service pour le jour de la semaine moyen sélectionné (jeudi dans l'exemple).

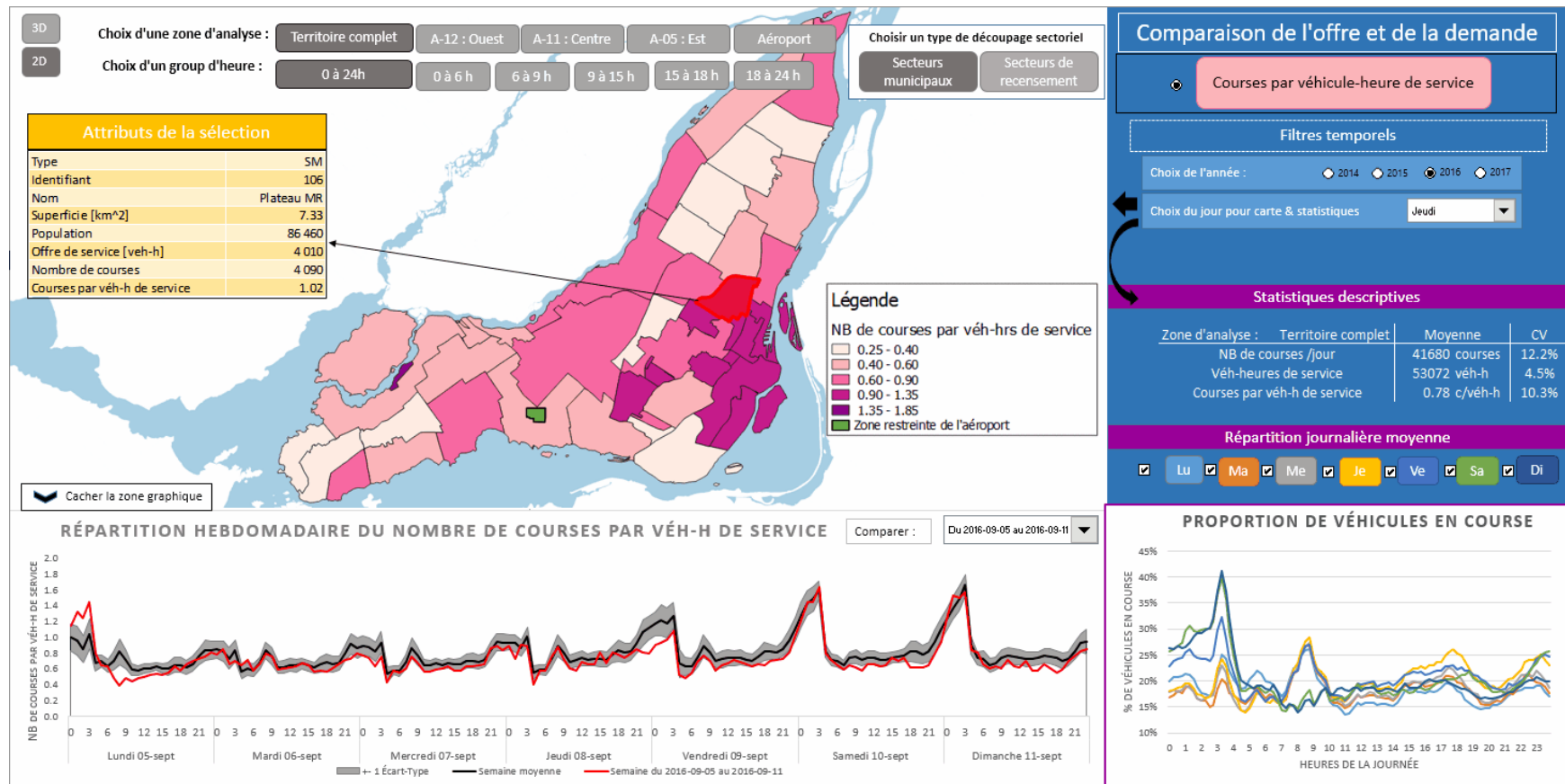


Figure 5.8 : Page de comparaison de l'offre et de la demande

5.4.4 Page de l'objet véhicule

La page suivante du tableau de bord (Figure 5.9) vise à présenter les indicateurs calculés à l'échelle du véhicule. Ces indicateurs sont agrégés sur l'ensemble de l'année (1) et sont segmentés spatialement selon l'agglomération du permis (2). Il est aussi possible d'observer uniquement les indicateurs calculés pour les permis d'aéroport (2). Cette page combine des statistiques associées à l'offre comme la durée en service, la distance parcourue et le nombre de chauffeurs par véhicule, mais aussi des statistiques associées à la demande comme le nombre de courses effectuées. La page est segmentée en trois sections. La première section est celle des statistiques descriptives (4). Elle indique des statistiques journalière et hebdomadaire par véhicule. La construction de cette section permet un comparatif entre la semaine moyenne de l'année sélectionnée et une semaine spécifique. Les colonnes « Diff. » affichent la différence relative entre la semaine sélectionnée et la semaine moyenne. Alors que la section des statistiques descriptives présente seulement la valeur moyenne par véhicule et le coefficient de variation (CV) de chaque indicateur, la deuxième section (6) illustre la distribution complète des véhicules pour ces mêmes indicateurs. Les graphiques illustrent deux distributions des données journalières laissées au choix de l'utilisateur (7). Il est donc possible de comparer une journée spécifique avec une journée moyenne, mais aussi n'importe quelles journées de l'année entre elles. La troisième section (8) vise à illustrer les grandes tendances annuelles. En effet, la comparaison des valeurs moyennes par véhicule ou de la distribution des véhicules pour une semaine spécifique avec une semaine moyenne est intéressante, mais ne permet pas d'entrevoir des tendances annuelles ou saisonnières. L'utilisateur peut choisir dans cette section d'afficher la répartition sur l'année sélectionnée (1) des valeurs hebdomadaires moyennes des trois indicateurs (durée, distance, nombre de courses) (9) pour l'agglomération de taxis sélectionnée (2).

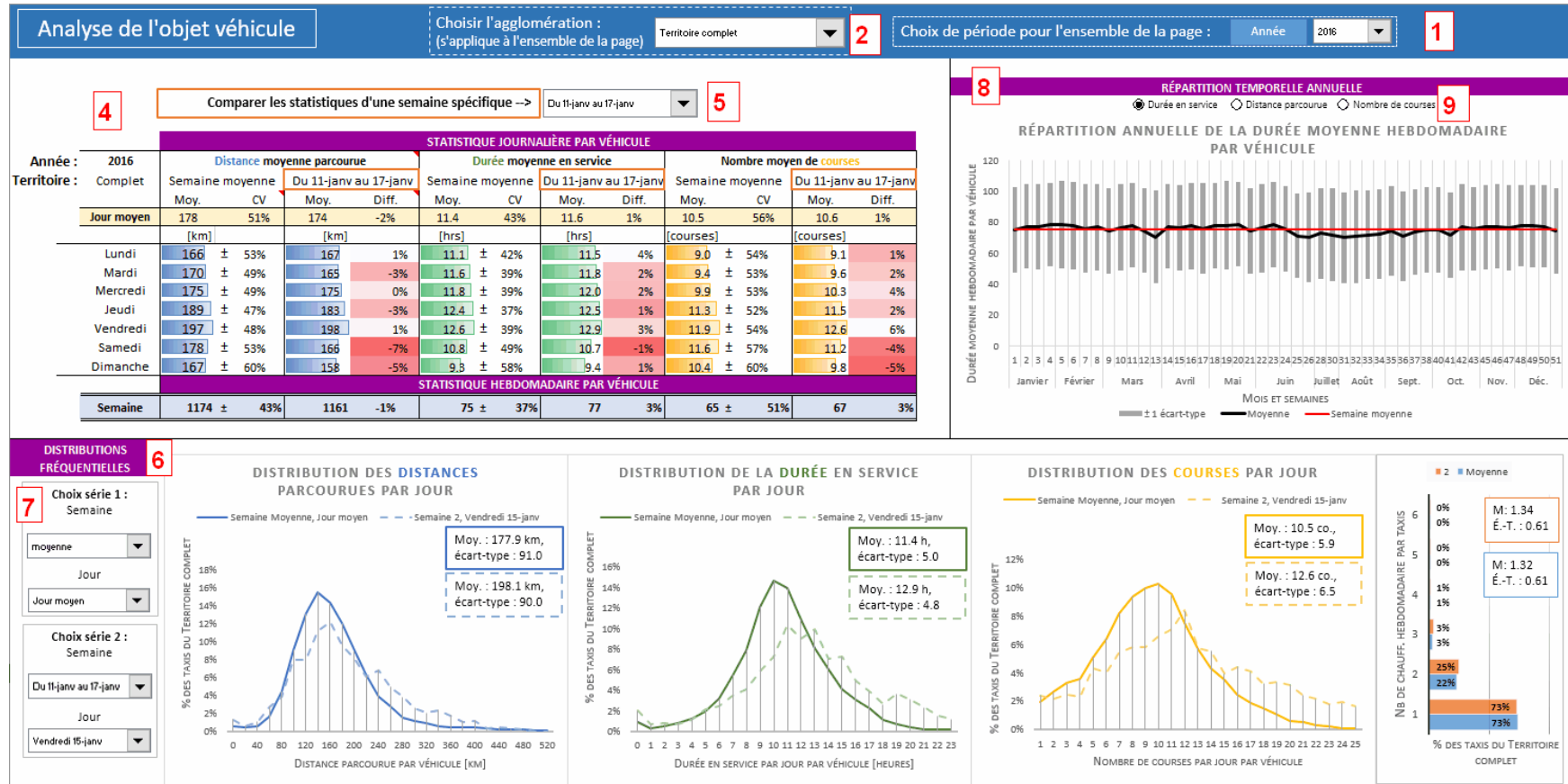


Figure 5.9 : Page du tableau de bord sur l'objet véhicule

5.4.5 Page de l'objet chauffeur

La cinquième page du tableau de bord, s'intéresse aux statistiques par chauffeur. Elle est construite dans le même format que la page des statistiques par véhicule. Quatre indicateurs y sont présentés sous deux formes différentes. La section (1) est celle des statistiques descriptives. Y sont présentés les valeurs moyennes par jour et par semaine du nombre d'heures travaillées, du nombre de courses effectuées et du revenu horaire sont affichées dans la partie supérieure gauche. Comme pour les véhicules, l'outil permet de comparer une semaine spécifique (2) avec la semaine moyenne de l'année sélectionnée (3). Ces mêmes indicateurs sont présentés sous forme de distributions fréquentielles dans la section au bas de la page (4). Pour les distributions, tous les jours de l'année peuvent être comparés entre eux et avec les jours moyens. La distribution la plus à droite (5) illustre quelles proportions des chauffeurs utilisent combien de véhicules dans une semaine (spécifique ou moyenne). Finalement, la section en haut à droite (6) présente la distribution annuelle des valeurs hebdomadaires moyennes pour les trois indicateurs principaux : heures travaillées, nombre de courses et revenus.

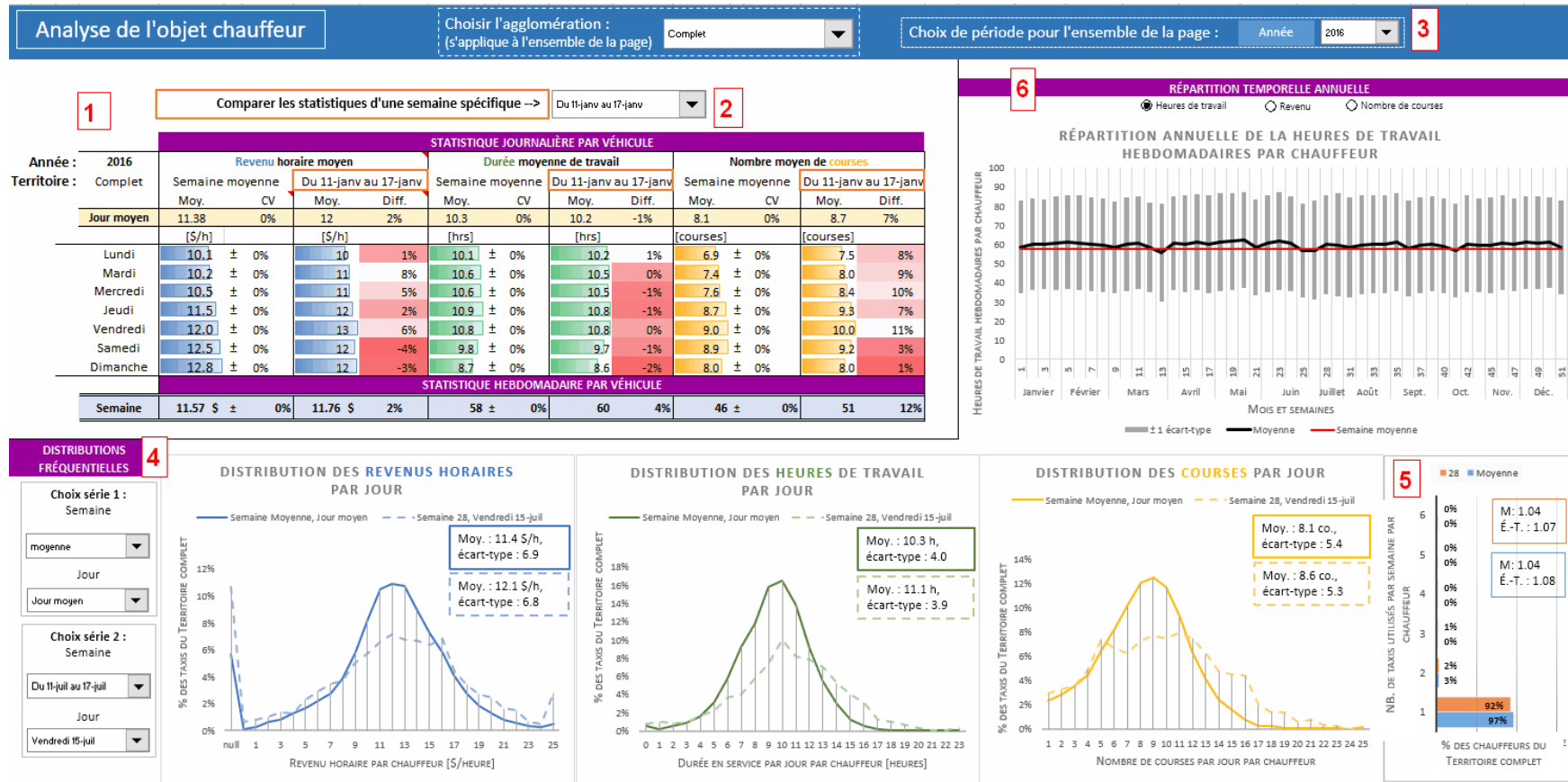


Figure 5.10 : Page du tableau de bord sur l'objet chauffeur

5.5 Présentation et analyse des principaux indicateurs pour les trois agglomérations

Le tableau de bord interactif présenté à la section précédente offre à son utilisateur la possibilité de visualiser l'ensemble des indicateurs pour différentes échelles spatiales et temporelles. Le médium statique du présent mémoire ne permet toutefois pas d'en faire ressortir les faits saillants pour les trois agglomérations de taxi en une seule figure par page. La présente section vise donc à analyser l'offre, la demande et les différents objets de taxi pour les trois agglomérations de Montréal pour l'année 2016. Certains des indicateurs et analyses qui suivent n'ont jamais été présentés auparavant, notamment ceux sur les revenus des chauffeurs et les prix des courses de taxi. Puisque seulement un échantillon de l'ensemble des permis de chaque agglomération est observé dans les données, les statistiques calculées sont toujours exprimées avec un intervalle de confiance à 95%. S'il s'agit d'une moyenne, alors, la distribution utilisée pour l'intervalle suit une Loi de Student à $(n - 1)$ degrés de liberté où n est le nombre d'observations. Si la variable mesurée est un indicateur par véhicule (1 véhicule = 1 permis), par exemple le nombre moyen de courses par jour par véhicule, alors le nombre d'observations est le nombre de permis observés dans les données. Si la variable est la moyenne d'une somme sur l'ensemble des véhicules (nombre de courses par jour effectuée par l'ensemble des véhicules) alors n est le nombre de jours observés.

Dans le cas des permis, puisqu'il s'agit d'une population finie dont le nombre est connu et la proportion est élevée par rapport à l'ensemble des permis ($>5\%$), l'intervalle peut être réduit grâce au facteur de correction suivant (exemple pour l'estimation d'une valeur moyenne) :

$$\bar{X} \pm t_{\alpha/2} * \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N - n}{N - 1}}$$

Où S est l'écart-type de l'échantillon, N la taille de la population (le nombre réel de permis), n le nombre de permis observés et $t_{\alpha/2}$ la valeur de la distribution de Student à $(1 - \text{confiance de l'intervalle} : 95\%) / 2$. Comme le nombre de permis observé et le nombre de permis réel varie mensuellement alors la pondération utilisée pour le calcul des indicateurs est aussi calculée mensuellement. Ainsi, pour calculer l'intervalle de confiance d'une valeur moyenne annuelle, le nombre de permis observés, n , est pris comme la moyenne des 12 mois de l'année, soit 1512 pour l'ensemble de l'île, 54 pour A-05, 225 pour A-12 et 1232 pour A-11.

De plus, certains des indicateurs présentés dans cette section sont sur une base annuelle, tel le nombre de courses de taxi effectuées en 2016. Il est donc nécessaire de pouvoir estimer les journées manquantes. Pour tenir compte des variations saisonnières, les sept journées manquantes sont estimées à partir de la moyenne du même jour de la semaine précédente et du même jour de la semaine suivant, à condition que ceux-ci ne soient pas fériés. À noter que jeudi qui précède le 7 juillet 2016 est le jeudi 30 juin qui est une veille de jour férié (Fête du Canada), il en va de même pour le jeudi de la semaine d'avant (23 juin) qui est la veille de la fête Nationale du Québec. La journée du 7 juillet est donc estimée à partir des deux jeudis qui la suivent. Le Tableau 5.5 liste les journées manquantes et les journées utilisées pour l'estimation.

Tableau 5.5 : Listes des dates manquantes et des dates utilisées pour l'estimation de ces dates

Date manquante	Jour de la semaine	Dates pour l'estimation
7 juillet 2016	Jeudi	Les jeudis 14 et 21 juillet 2016
18 juillet 2016	Lundi	Les lundis 11 et 25 juillet 2016
26 septembre 2016	Lundi	Les lundis 19 sept. et 3 octobre 2016
27 septembre 2016	Mardi	Les mardis 20 sept. et 4 octobre 2016
28 septembre 2016	Mercredi	Les mercredi 21 sept. et 5 octobre 2016
29 septembre 2016	Jeudi	Les jeudis 22 sept. et 6 octobre 2016
6 novembre 2016	Dimanche	Les dimanches 30 octobre et 13 novembre 2016

5.5.1 Analyse de la demande

L'analyse de la demande se fait à travers les courses effectuées. Il s'agit donc de la demande desservie puisque la demande non desservie ne peut être estimée avec les données actuelles. Entre le 1er janvier et 31 décembre 2016, les 4420 permis de Montréal ont effectué 13,4 millions de courses. Ces courses ont totalisé 73,9 millions de kilomètres parcourus en 2,82 millions d'heures de courses. Les revenus bruts de ces courses, tels qu'estimés selon la méthode présentée à la section 5.2.1.1, totalisent 194 millions de dollars. En ramenant ces données à une journée moyenne, ceci correspond à 36 670 courses par jour pour lesquelles 202 000 kilomètres ont été parcourus avec des clients à bord en 7 715 heures, générant environ 531 000 \$ par jour de revenu. Ces statistiques journalières servent à mettre en perspective les données annuelles, mais correspondent à une journée moyenne qui a peu de sens réel. En effet, la demande de taxi varie considérablement selon les jours de la semaine et les heures de la journée. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle elle est agrégée par jour de semaine dans le tableau de bord. La Figure 5.11 reprend la répartition

temporelle de la page de demande du tableau de bord, mais pour l'ensemble des courses effectuées par les taxis montréalais, incluant celles débutant à l'extérieur de l'Île. À noter que les moyennes, horaires et journalières, n'excluent pas les jours fériés.

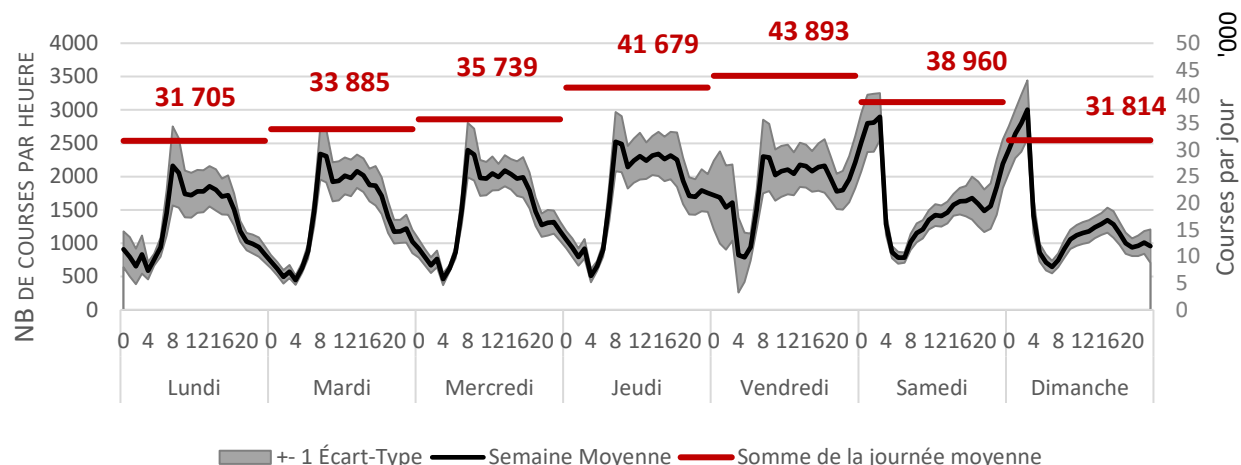


Figure 5.11 : Répartition hebdomadaire moyenne de la demande de taxi desservie par les 4420 permis de l'île de Montréal, Année 2016

Pour l'ensemble de l'île de Montréal, les journées les plus achalandées sont les vendredis et les jeudis, accaparant respectivement 17,0 % et 16,2 % de la demande hebdomadaire moyenne. Ces deux journées combinent d'importants déplacements durant la journée ainsi qu'une demande moyenne à forte en soirée. Les journées les moins occupées sont le lundi et le dimanche, avec chacune environ 12,3 % de la demande hebdomadaire.

Les heures de pointe varient aussi d'une journée à l'autre. Du lundi au vendredi, elles se situent dans l'heure de pointe matinale, précisément entre 8 h et 9 h. L'heure de pointe matinale maximale est le jeudi avec une moyenne d'environ 2 525 courses. Les pics de demande matinale sont toutefois moins élevés que les heures de pointe nocturnes du samedi et du dimanche. Les six heures les plus achalandées de la semaine ont lieu les deux jours de fin de semaine entre 1 h et 4 h du matin. L'heure maximale est dans la nuit de samedi à dimanche entre 3 h et 4 h alors que 3 000 courses sont effectuées. À titre indicatif, l'heure de 2016 avec la plus forte demande, 6 158 courses, était le 1^{er} janvier entre 2 h et 3 h du matin. Inversement, les heures moyennes hebdomadaires les plus creuses sont les mardi et mercredi entre 4 h et 5 h du matin alors que quelque 450 courses sont effectuées pour chacune de ces heures sur l'ensemble du territoire.

À l'échelle des journées, les événements climatiques, les jours fériés et les journées de célébration peuvent grandement affecter la demande. Le Tableau 5.6 présente les trois journées les plus achalandées de l'année et les trois journées les plus calmes.

Tableau 5.6 : Liste des trois journées avec la plus forte demande et des trois journées avec la plus faible demande en 2016

Rang	Date	Jour	Nombre de courses	% de différence relative avec jour de semaine moyen
1^{er}	16 décembre	Vendredi	57 334	+31%
2^e	1 ^{er} janvier	Vendredi	54 516	+24%
3^e	7 avril	Jeudi	53 057	+27%
...
364^e	10 octobre	Lundi	23 665	-25%
365^e	25 décembre	Dimanche	23 589	-26%
366^e	5 septembre	Lundi	20 489	-35%

La journée la plus achalandée de l'année est le vendredi 16 décembre 2016. Combinées avec l'effet du vendredi, deux hypothèses sont posées pour expliquer cette demande anormale. Premièrement, beaucoup de partys de Noël de bureau ont lieu au mois de décembre et le 16 décembre 2016 est le dernier vendredi avant le congé des fêtes. Deuxièmement, la température à cette date était particulièrement froide avec une moyenne de -19,8 °C (Environment Canada, 2016). Inversement, la journée la moins achalandée de l'année 2016 est le lundi de la fête du Travail, soit le 5 septembre alors que peu de gens travaillent et beaucoup quittent la ville pour la fin de semaine.

Ce profil de demande moyen hebdomadaire est très fortement affecté par la demande de l'agglomération A-11. Les permis réguliers de cette agglomération représentent 86,8% des permis réguliers de l'Île de Montréal et effectuent 89,7 % des courses de l'Île. Pour comparer les trois profils de demande hebdomadaires moyens, il faut donc normaliser les profils sur les demandes totales respectives, comme sur la Figure 5.12. Une distinction importante s'impose : dans le tableau de bord, le choix de l'agglomération réfère à l'origine de la course alors que la comparaison ici se fait selon l'agglomération du permis.

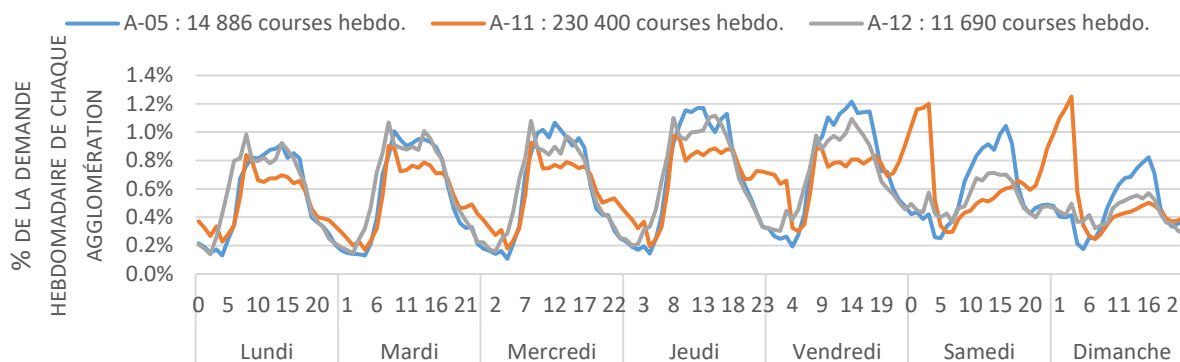


Figure 5.12 : Répartition temporelle relative d'une semaine moyenne, par agglomération des permis

Les trois courbes ont chacune des particularités qui les distinguent, donnant des indices sur les motifs de déplacement par taxi. L'Annexe B présente les résultats d'une analyse plus en profondeur de la variation de cette demande dans le temps et dans l'espace effectuée dans le cadre d'un article soumis au congrès annuel 2017 du *Transportation Research Board*. Tout d'abord, la courbe de l'agglomération A-05 (Est de l'Île) ne possède pas la période de pointe matinale les jours de semaine observée sur les deux autres courbes. La pointe matinale se confond avec dans la pointe de la journée (entre 9 h et 17 h). À l'exception du mardi, l'heure maximale de cette agglomération se situe entre 12 h et 13 h ou entre 13 h et 14 h pour le lundi, mercredi, jeudi et vendredi. Si la demande de fin de soirée est légèrement plus élevée le vendredi et samedi soir que pour les autres journées de la semaine, cette pointe est beaucoup moins importante que pour l'agglomération A-11. La courbe A-05 se distingue aussi des deux autres la fin de semaine avec une proportion beaucoup plus élevée de sa demande en milieu de journée. L'heure de pointe maximale du samedi (16 h à 17 h; 150 courses) est d'ailleurs supérieure ou égale à l'heure maximale du lundi (14 h à 15 h; 136 courses) et du mardi (9 h à 10 h; 150 courses). Il importe toutefois de prendre ces valeurs avec un grain de sel puisque cette agglomération est celle avec le plus petit échantillon de permis possédant le dispositif à bord qui permet de distinguer les courses dans les traces GPS. L'incertitude est donc plus élevée que pour les deux autres agglomérations.

La courbe de l'agglomération A-11 ressemble beaucoup à celle de l'ensemble de l'île puisqu'elle représente 90% de la demande. Elle présente une heure de pointe maximale entre 8 h et 9 h du lundi au jeudi et une heure de pointe fortement affectée par les déplacements de fin de soirée et de nuit le vendredi (23 h à minuit; 2094 courses), le samedi (3 h à 4 h; 2765 courses) et le dimanche

(3 h à 4 h; 2881 courses). Finalement, l'agglomération A-12 (Ouest de l'île) possède une heure de pointe matinale de semaine très marquée du lundi au jeudi entre 8 h et 9 h (entre 115 et 129 courses). Le vendredi, l'heure de pointe maximale est entre 14 h et 15 h (128 courses). La demande de fin de semaine pour cette agglomération est aussi beaucoup plus faible, représentant 22,9 % de la demande hebdomadaire, contre 25,4 % pour A-05 et 27,8 % pour A-11 (à noter que $2/7 = 28,6 \%$). Un autre aspect de la demande qui n'est pas présentée dans le tableau de bord concerne les tendances saisonnières. La Figure 5.13 présente la répartition de la demande hebdomadaire du 4 janvier au 25 décembre 2016.

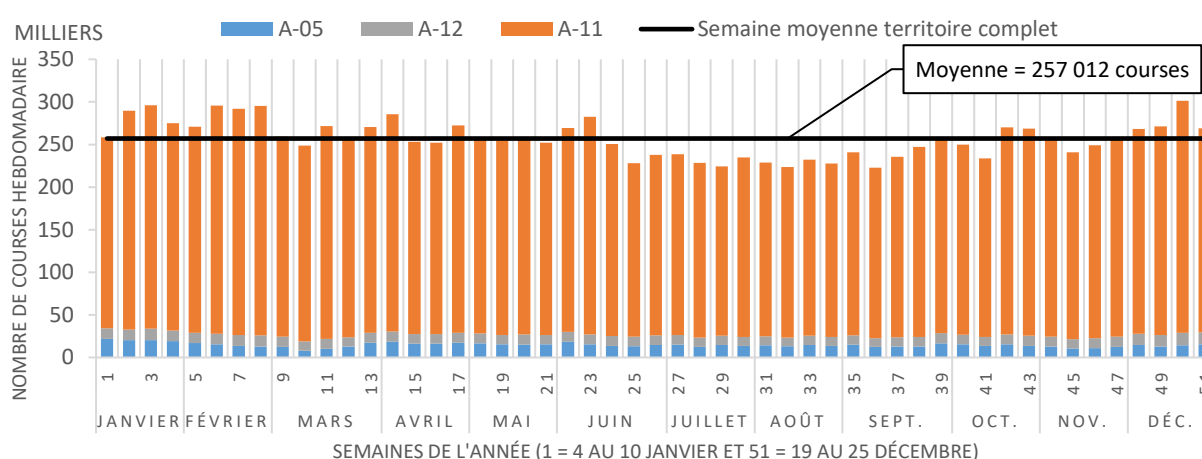


Figure 5.13 : Répartition annuelle de la demande hebdomadaire de déplacements par taxi

L'observation de cette répartition permet de conclure que la demande de déplacement par taxi baisse durant les mois d'été. La demande hebdomadaire des mois de juillet et août est en moyenne 10,5 % inférieure à la semaine moyenne annuelle. Toutefois, la semaine avec la plus faible demande de l'année est celle du 5 au 11 septembre (222 660 courses) suivi de très près par celle du 8 au 14 août (223 670 courses). À l'inverse, les mois d'hiver ont une demande supérieure à la moyenne. La demande hebdomadaire du mois de février est en moyenne 12,2 % plus élevée que la moyenne des semaines de l'année. La première en tête de liste est toutefois la semaine du 12 au 18 décembre (301 310 courses). À noter que la semaine la plus importante comprend la journée la plus achalandée (vendredi 16 décembre) et la semaine la moins importante comprend la journée la moins achalandée de l'année (lundi 5 septembre). Cette répartition ne permet pas d'observer les variations pour les agglomérations A-05 et A-12. Les répartitions de ces deux agglomérations sont donc comparées à leur semaine moyenne sur la Figure 5.14.

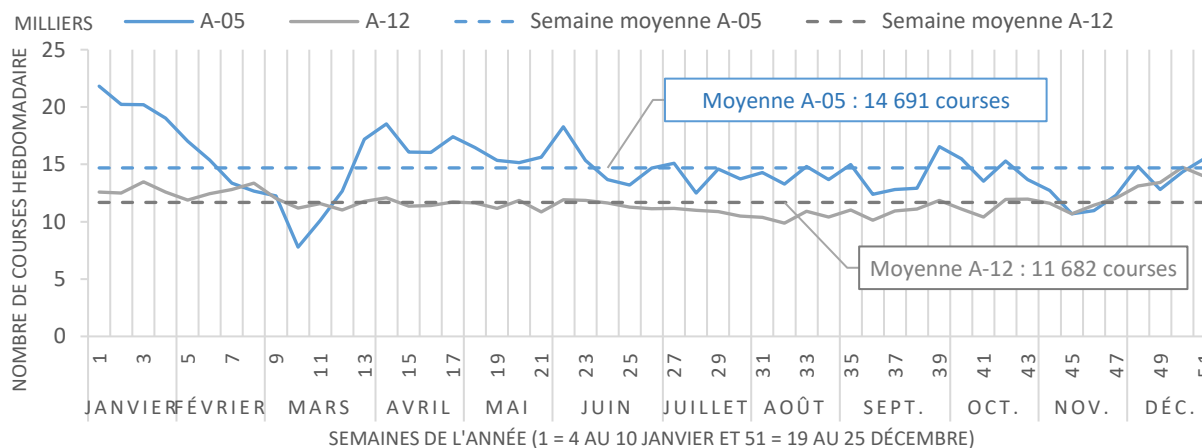


Figure 5.14 : répartition annuelle de la demande hebdomadaire de déplacements par taxi, agglomération A-05 et A-12, 2016

La courbe pour l'agglomération A-05 semble beaucoup plus instable et variable que celle pour A-12. Son coefficient de variation entre les semaines s'élève à 17,7 % contre 8,4 % pour A-12 et 8,4 % pour A-11. Il est nécessaire de rappeler que l'échantillon pour A-05 est beaucoup plus petit, notamment pour les trois premiers mois de l'année. Pendant ces mois, environ 25 % des véhicules de Taxi Hochelaga étaient équipés du dispositif nécessaire pour enregistrer les courses (Voir Figure 4.2). En ce sens, de janvier à mars la taille de l'échantillon est de 21 véhicules, ce qui est peu représentatif des 320 permis de cette agglomération. Cette incertitude est corrigée à partir du mois d'avril alors que 59 véhicules sont échantillonnés pour ensuite monter doucement jusqu'à 69 en décembre. Il est donc peu avisé d'essayer de tirer des conclusions sur la demande pour les trois premiers mois de l'année pour cette agglomération. À noter que la forte demande de janvier semble contrebalancer le creux du mois de mars et que la moyenne hebdomadaire d'avril à décembre pour A-05, 14 461 courses, est inférieure de seulement 1,6 % à la moyenne sur l'ensemble de l'année (14 691). Néanmoins, comme pour l'agglomération A-11, une tendance à la baisse s'observe durant l'été pour les agglomérations A-05 et A-12.

5.5.1.1 Analyse spatiale de la demande

Un autre angle d'analyse de la demande est celui de la répartition géographique des origines et des destinations des courses de taxi. Un chapitre complet pourrait être dédié à analyser spatialement la demande de taxi. L'article soumis au congrès annuel 2017 du *Transportation Research Board* et présenté à l'Annexe B aborde d'ailleurs cette thématique en effectuant une classification spatiale

et temporelle en plusieurs groupes selon le profil journalier de demande. La présente section présente donc quelques faits saillants sur la façon dont la demande de taxi se répartit sur l'île de Montréal. La visualisation spatiale des données de l'ensemble de l'île, tout comme la répartition temporelle de la section précédente, ne permet pas d'apprécier les variations de la demande, beaucoup plus faible, des agglomérations A-05 et A-12 en raison de la très forte concentration au cœur de l'île. La première segmentation spatiale utilisée est celle des secteurs municipaux de l'enquête Origine-Destination 2013. La carte présentée à la Figure 5.15 vise à mettre en perspective l'importante variation de la répartition spatiale de la demande (point d'origine de la course). Elle illustre la partie centrale de Montréal. Les choix de couleurs sont basés sur les ruptures naturelles entre les secteurs.

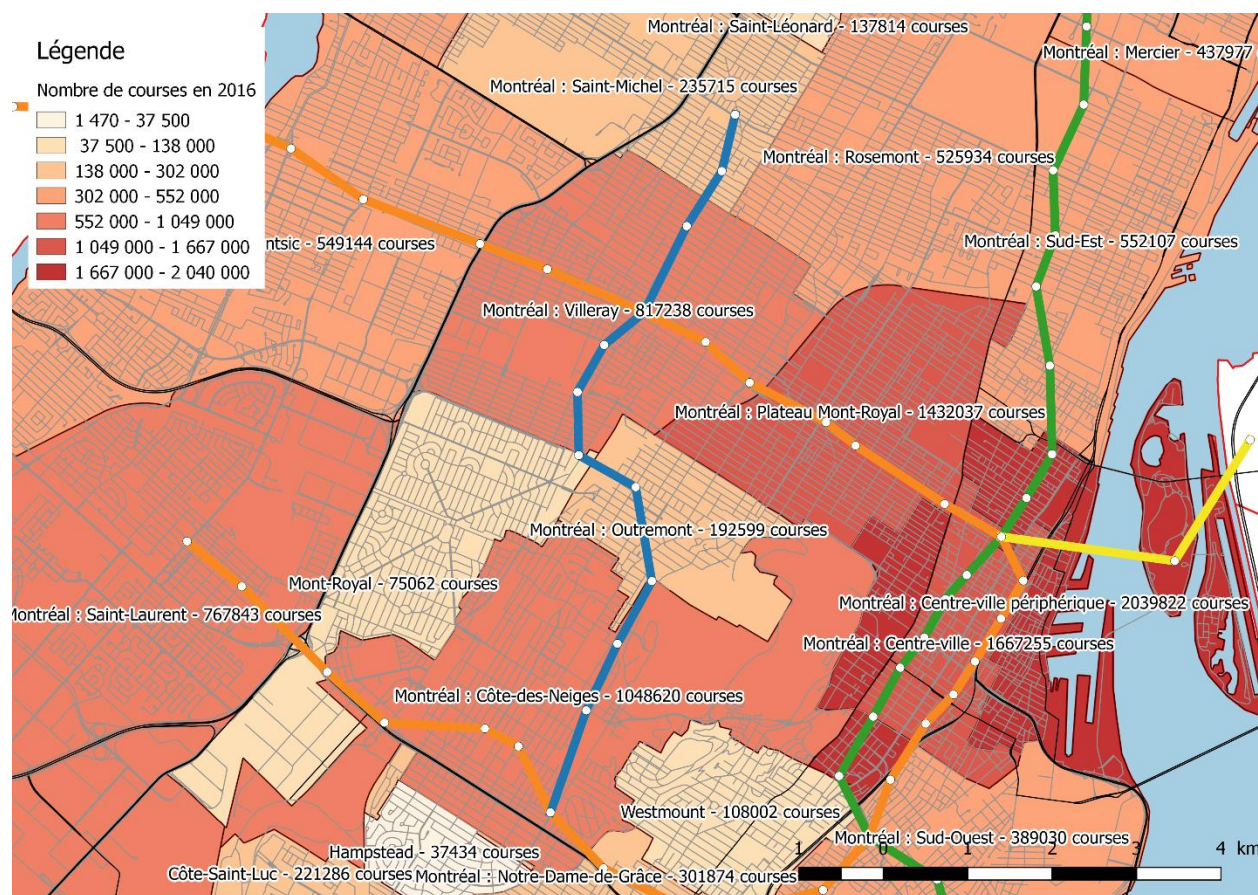


Figure 5.15 : Carte du nombre d'origines de courses de taxi au centre de Montréal, segmenté par secteur municipal de l'enquête OD 2013.

Les deux secteurs municipaux du centre-ville : le centre-ville et le centre-ville périphérique avec ensemble 3,72 millions des courses en 2016 représentent à eux seuls 27,7%, de l'ensemble des courses débutant sur l'île de Montréal. La Figure 5.16 illustre la répartition cumulée des courses de taxi, de la population et de la superficie de l'île de Montréal. Collectivement, le centre-ville, le Plateau Mont-Royal, Côtes-des-neiges, Villeray et Ville-St-Laurent représentent 58,2 % de la demande de taxi, 17,8 % de la superficie et 25,6 % de la population.

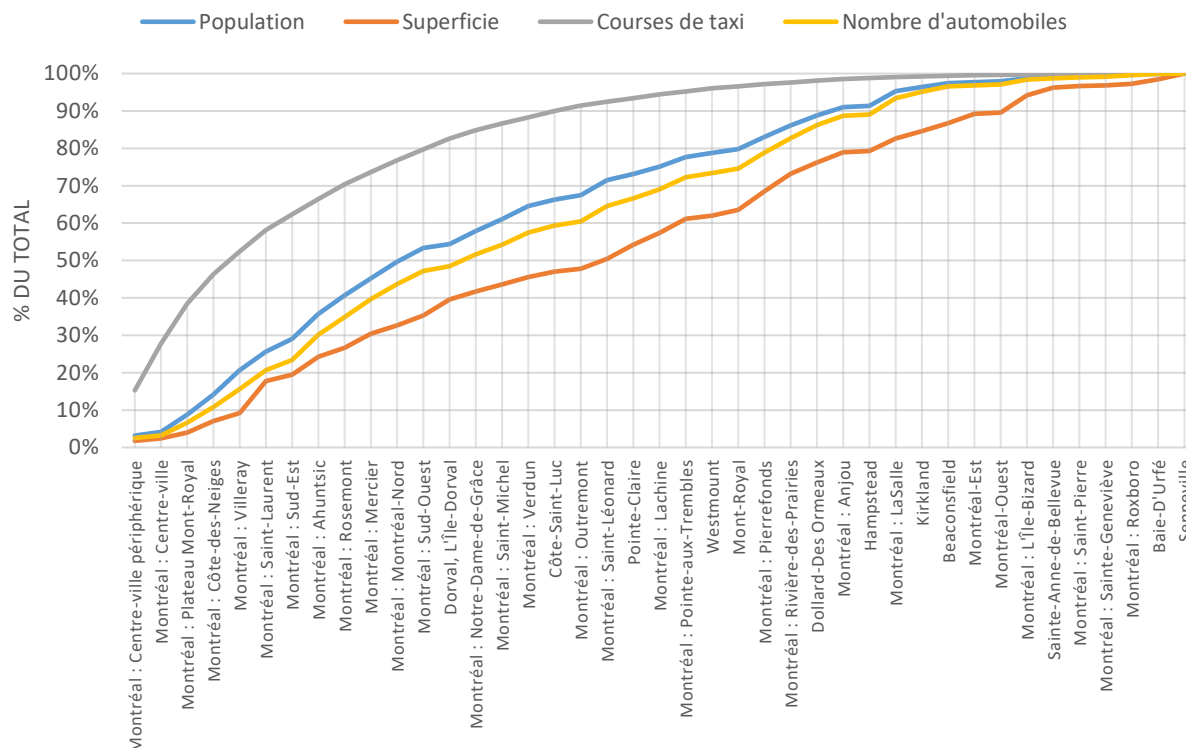


Figure 5.16 : Répartition cumulée croissante des courses de taxi par secteur municipal, 2016

Pour identifier la variabilité dans la localisation de la demande, il faut utiliser une segmentation plus fine que le secteur municipal. Deux options sont possibles. La première est le secteur de recensement qui peut être pertinent pour analyser des secteurs à densité de population homogènes et pour comparer la demande de taxi avec les données du recensement. Toutefois, puisque la division des secteurs s'appuie sur une population de taille similaire, ceux-ci ont une superficie très variable. Certains secteurs de recensement dans des quartiers de très haute densité peuvent faire quelques coins de rue alors que d'autres secteurs, principalement aux extrémités de l'île et dans les secteurs industriels ou boisés, peuvent être plus grands que certains secteurs municipaux. Une façon intéressante de représenter la variabilité dans l'espace est donc d'utiliser un découpage à

l'aide d'une grille à superficie fixe. La grille utilisée ici est de forme hexagonale et chaque hexagone mesure exactement un kilomètre carré. Les trois figures qui suivent présentent le résultat de cette segmentation pour les agglomérations A-05, A-11 et A-12. À noter que la légende, change pour chaque figure afin de pouvoir identifier les régions de plus forte demande de chaque agglomération. Les hexagones contenant moins d'une course par jour y débutant sont exclus et la classification des couleurs est faite selon la méthode des ruptures naturelles, comme pour le tableau de bord.

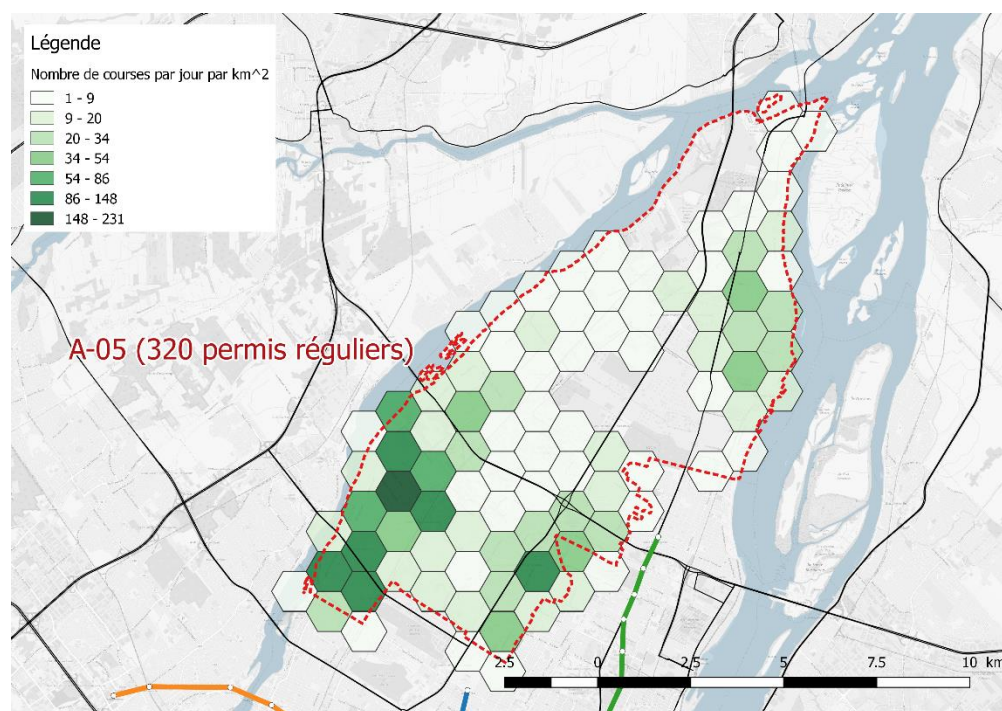


Figure 5.17 : Répartition spatiale de la demande journalière moyenne de taxi, Agglomération A-

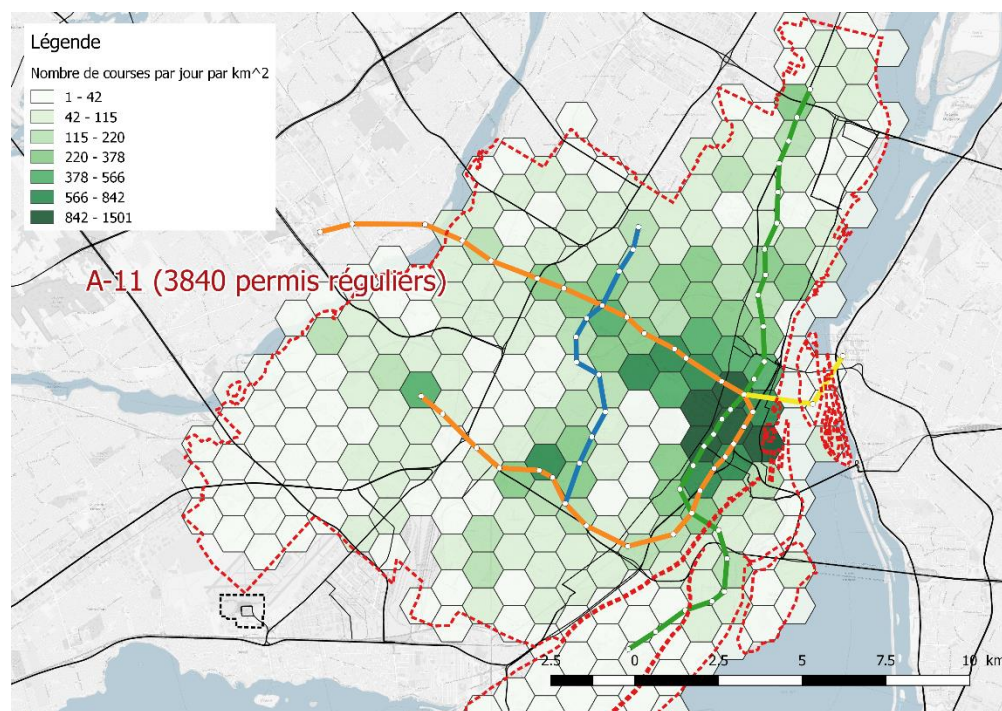


Figure 5.18 : répartition spatiale de la demande journalière moyenne de taxi, agglomération a-11

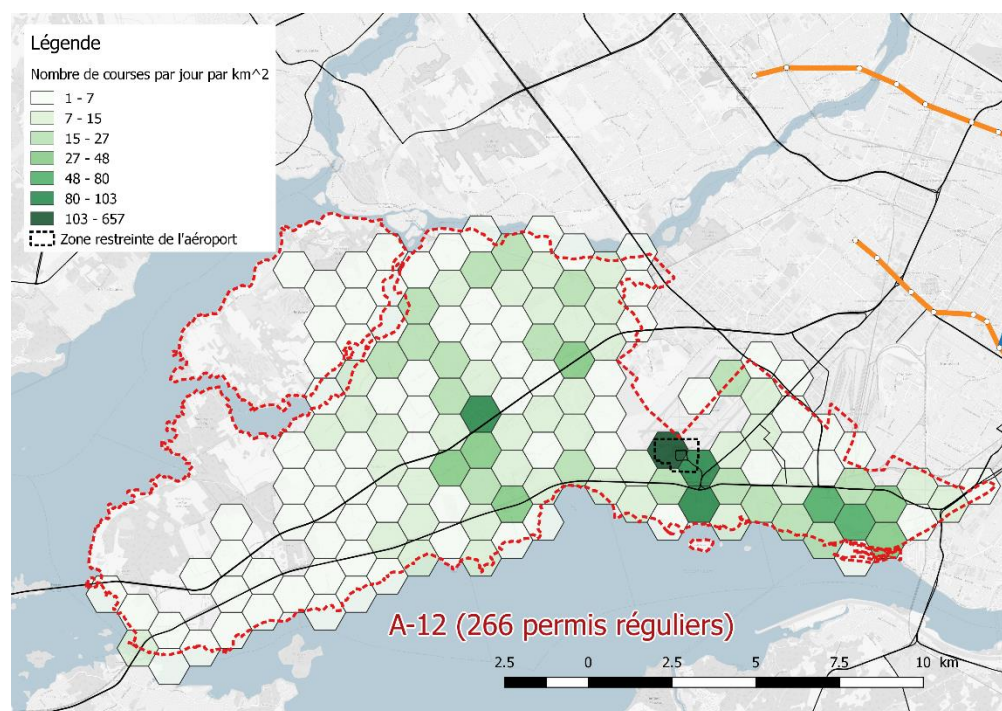


Figure 5.19 : Répartition spatiale de la demande journalière moyenne de taxi, Agglomération A-

Ces cartes permettent d'observer la répartition géographique de la demande pour une journée moyenne. Une interface dynamique permettrait de faire varier ces cartes selon l'heure de la journée et selon la journée de la semaine afin d'observer la répartition spatio-temporelle de la demande. Sur un support statique en deux dimensions, une méthode alternative est proposée afin de valider comment se concentre la demande selon l'heure de la journée et la journée de la semaine. En reprenant la courbe de demande hebdomadaire moyenne pour l'ensemble de l'île de Montréal, la part des courses dont l'origine se situe dans les 10 hexagones (donc 10 km²) avec le plus grand nombre de courses est calculée pour chaque heure moyenne de la semaine et illustrée à la Figure 5.20. Ces dix hexagones horaires avec la plus forte demande ne sont pas toujours les mêmes, mais certains reviennent très souvent. Pour une semaine moyenne, seulement 30 hexagones (sur 568 à Montréal) se retrouvent au moins une fois (1 heure par semaine) dans les 10 hexagones principaux hexagones. Ces 30 hexagones sont identifiés sur la carte de la Figure 5.20.

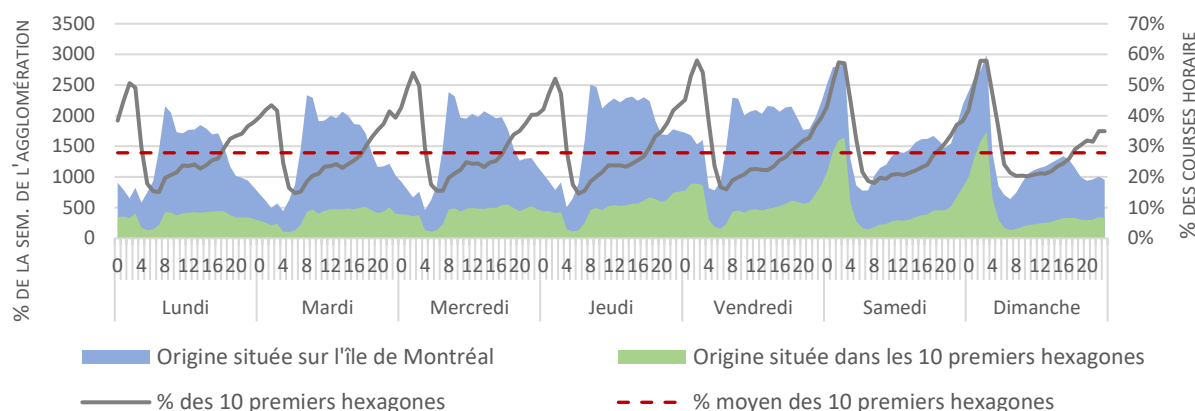


Figure 5.20 : Répartition hebdomadaire de la concentration de la demande dans les 10 hexagones les plus achalandés de chaque heure

Une tendance claire est observable pour tous les jours de la semaine : la proportion de la demande à l'origine des dix principaux hexagones tend à se concentrer en fin de soirée et en début de nuit avant de redescendre rapidement pour atteindre son point le plus bas entre 6 h et 7 h du matin. Spécifiquement, ce sont les lundi et mardi entre 6 h et 7 h du matin que la demande est la plus dispersée alors que seulement 15 % des courses débutent dans les dix hexagones avec le plus de courses. Inversement, lors de la pointe de demande correspondant à la sortie des bars, entre 3 h et 4 h du matin le samedi et le dimanche, 58 % des courses débutent dans les dix kilomètres carrés les plus achalandés.

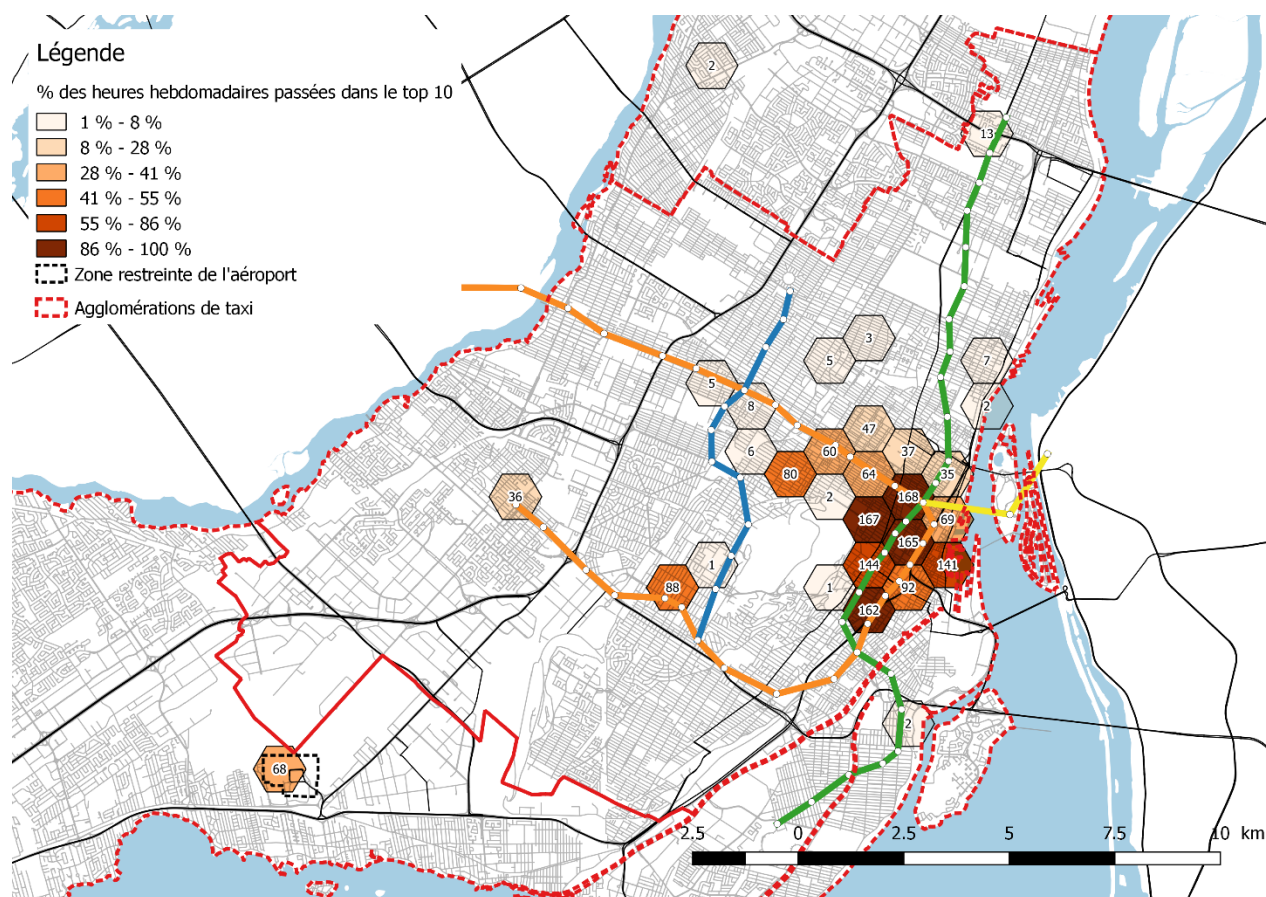


Figure 5.21 : Carte des 30 hexagones qui se retrouvent dans les 10 plus importants hexagones au moins 1 heure au cours de la semaine moyenne

Les valeurs à l'intérieur des hexagones sur la Figure 5.21 indiquent le nombre d'heures durant la semaine (sur un maximum de 168) où cet hexagone se retrouve dans les 10 hexagones les plus achalandés. Sur les 30 hexagones identifiés sur la carte, 28 sont situés dans l'agglomération A-11, un seul dans l'agglomération A-05 (à l'intersection des boulevards Lacordaire et Henri-Bourassa dans Montréal-Nord) et un seul dans l'agglomération A-12 : celui de l'aéroport. Sur les 30, seul l'hexagone du Quartier latin se retrouve le top 10 pour l'ensemble des 168 heures de la semaine. Ses voisins sont très proches avec 167 et 165 présences. À l'extérieur du centre-ville, les secteurs importants sont le Mile-End (80 présences), le secteur de la station Plamondon (88 présences), l'Aéroport (68 présences) et Côte-Vertu (36 présences).

Finalement, pour bien visualiser la différence selon l'heure de la journée de la dispersion spatiale des origines des courses de taxi, l'ellipse de déviation standard pondérée est utilisée. Pour construire ces ellipses, les centroïdes des hexagones sont calculés et le nombre de courses débutant

à l'intérieur de l'hexagone est utilisé comme poids. Trois ellipses sont calculées en exemple. La première est l'ellipse de référence qui est basée sur les courses de l'ensemble de la semaine moyenne (comme les hexagones des figures 5.14, 5.15 et 5.16, mais pour l'ensemble du territoire). Pour la semaine moyenne, 28 % des courses débutent dans les dix principaux hexagones. La deuxième représente le cas de plus faible concentration (15,1 % des courses dans les 10 principaux hexagones), soit le lundi entre 7 h et 8 h (1394 courses). La troisième ellipse est celle de l'extrême inverse, soit le dimanche entre 3 h et 4 h du matin alors que 58 % des 2932 courses de cette heure proviennent des 10 principaux hexagones. Les ellipses sont illustrées sur la Figure 5.22.

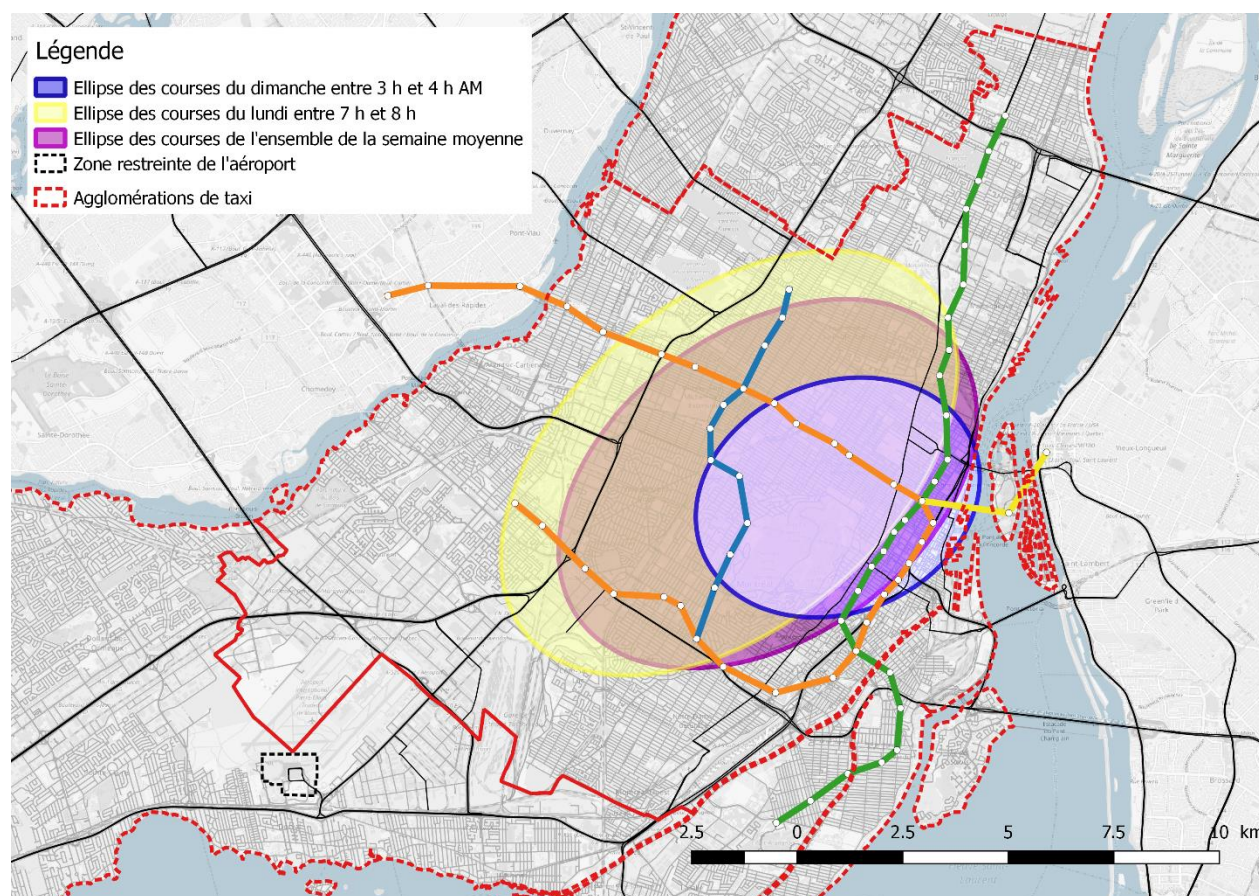


Figure 5.22 : Ellipses de dispersion standards pondérées pour la semaine moyenne, le dimanche à 3 h et le lundi à 7 h

Les ellipses présentent d'importantes différences. L'ellipse du lundi indique clairement une plus grande répartition dans l'espace des courses en plus d'un décalage vers le nord par rapport à l'ellipse de référence. L'ellipse de dimanche 3 h est beaucoup plus concentrique et traduit la forte

concentration des courses dans le secteur du centre-ville et le long de la ligne orange du métro, là où sont situés la majorité des bars et boîtes de nuit de la ville.

5.5.1.2 Statistiques par course

Le dernier aspect descriptif de la demande vise à décrire la course moyenne. La course se décrit selon sa longueur en kilomètre, sa durée en minute et son prix en dollars. Les trois agglomérations de taxis présentent-elles des statistiques par course différentes et ces statistiques varient-elles beaucoup dans le temps ?

Le Tableau 5.7 résume les statistiques moyennes de l'ensemble des courses de l'année 2016 selon l'agglomération du permis ayant effectué la course.

Tableau 5.7 : Tableau des statistiques par course pour les trois agglomérations et le territoire complet de Montréal

	A-05 (EST)	A-11 (CENTRE)	A-12 (OUEST)	TERRITOIRE COMPLET
Durée moy. (± IC)	10,8 ± 2,6 min.	12,5 ± 0,5 min.	13,0 ± 0,6 min.	12,5 ± 0,4 min.
Coeff. variation	87 %	81 %	84 %	81 %
Distance moy. (± IC)	4,50 ± 1,24 km	5,35 ± 0,27 km	7,84 ± 0,39 km	5,43 ± 0,24 km
Coeff. variation	110 %	109 %	97 %	108 %
Prix moy. (± IC)	13,68 ± 2,48 \$	14,03 ± 0,50 \$	18,91 ± 0,75 \$	14,26 ± 0,45 \$
Coeff. variation	73 %	78 %	76 %	78 %

La durée moyenne par course est similaire pour les trois agglomérations. La distance moyenne est similaire pour A-05 et A-11 alors qu'elle est 44 % plus élevée pour les permis de l'agglomération A-12 que pour l'ensemble des permis. Le prix moyen par course est aussi similaire pour A-05 et A-11 alors qu'il est 33 % plus élevé pour les permis de l'Ouest de l'île que pour la moyenne de tout le territoire.

Ces courses sont évidemment agrégées pour l'ensemble de l'année et ne font aucune distinction selon le jour de la semaine et l'heure de la journée. Ces indicateurs présentés sur la page de demande du tableau de bord sont calculés selon le jour de la semaine et permettent donc d'observer de légères différences. Les figures qui suivent permettent d'observer la variation de la distance

moyenne par course (Figure 5.23), de la durée moyenne par course (Figure 5.24) et du prix moyen par course (Figure 5.25) selon l'heure de la journée et le jour de la semaine.

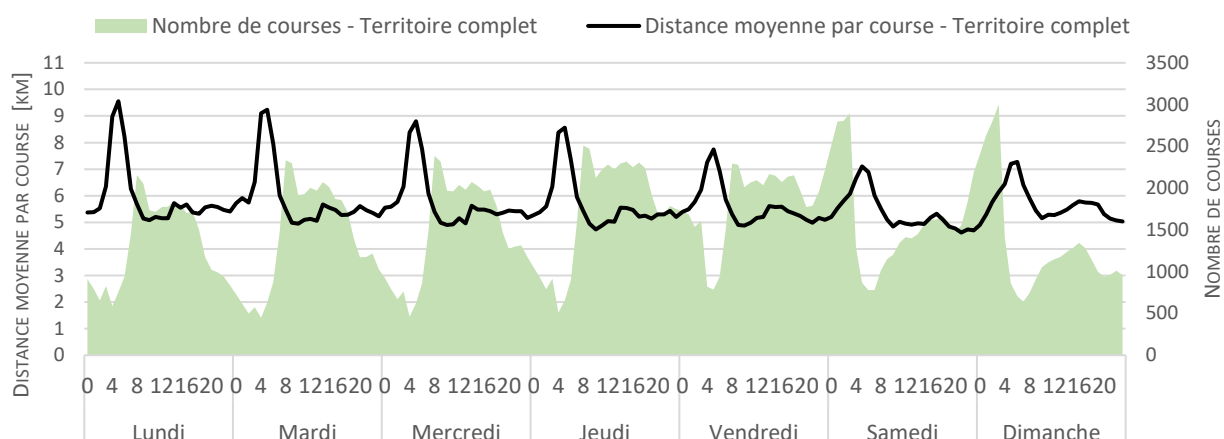


Figure 5.23 : Répartition hebdomadaire du nombre de courses et de la distance moyenne parcourue par course pour tous les permis du territoire, 2016

La distance moyenne par course est relativement stable durant la journée malgré un léger creux en pointe du matin et est maximale durant la nuit lorsque le nombre de courses est minimal. Ces pointes de distance sont plus importantes les nuits de semaine que pour les nuits de fin de semaine. La distance moyenne maximale est le lundi entre 5 h et 6 h du matin (9,55 km/ course) et la distance moyenne minimale a lieu le samedi entre 21 h et 22 h (4,61 km/ course).

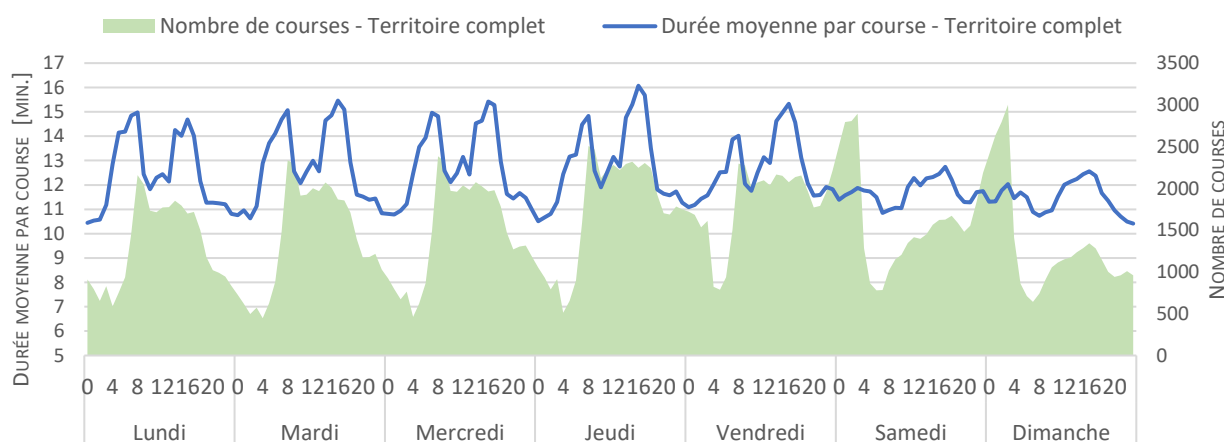


Figure 5.24 : Répartition hebdomadaire nombre de courses et de la durée moyenne par course pour tous les permis du territoire, 2016

Contrairement à la distance, la durée d'une course dépend de la congestion sur le réseau. En ce sens, les courses moyennes les plus longues ont lieu durant l'heure de pointe matinale (entre 6 h et 9 h les jours de semaine) et lors de la pointe de l'après-midi (entre 16 h et 18 h les jours de semaine). La durée moyenne des courses des jours de fin de semaine est beaucoup plus stable, présentant tout de même un pic en après-midi. La durée moyenne maximale est atteinte le jeudi entre 16 h et 17 h (16,1 minutes / course) et la durée moyenne minimale a lieu entre minuit et 1 h du matin le lundi (10,4 minutes / course).

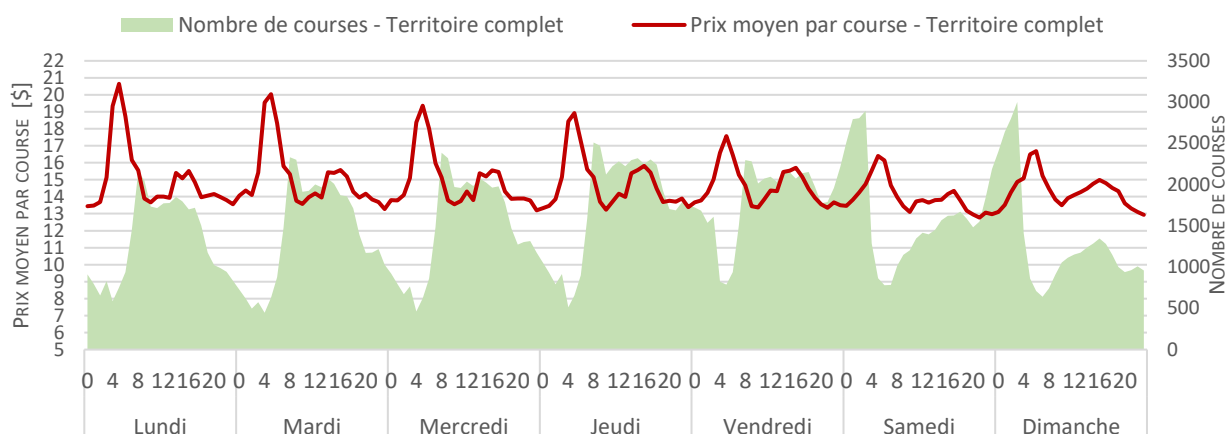


Figure 5.25 : Répartition hebdomadaire du nombre de courses et du prix moyen par course pour tous les permis du territoire, 2016

Puisque la formule tarifaire dépend de la distance et de la durée, il est normal que la courbe du prix possède des caractéristiques des deux autres courses. La formule de calcul du prix donne davantage de poids à la distance qu'à la durée ce qui explique pourquoi les courses les plus rentables ont lieu durant la nuit, lorsque la distance moyenne est maximale. Un pic secondaire est observé en après-midi alors que la durée moyenne des courses augmente considérablement.

Il importe de rappeler que la distance pèse plus lourd dans la balance que la durée. En se basant sur les valeurs moyennes de distance et de durée, une course de 5,43 km où le chauffeur ne s'est pas arrêté et a conduit à plus de 22 km/h rapporte : $3,45 \$ + 1,70 \$ / \text{km} * 5,43 \text{ km} = 12,70 \$$. À l'inverse, une course de durée moyenne où le véhicule serait par exemple pris dans le trafic et ne dépasserait jamais 22 km/h rapporterait : $3,45 \$ + 0,63 \$ / \text{min.} * 12,46 \text{ min.} = 11,30 \$$. En somme, une course de plus grande distance rapporte davantage qu'une course de longue durée, mais de faible distance. L'heure de la semaine la plus lucrative a lieu au même moment que la distance maximale soit le

lundi entre 5 h et 6 h du matin (20,65 \$ par course) et les courses rapportent le moins lorsque la distance est minimale, soit le samedi entre 21 h et 22 h (12,77\$ / course).

Une dernière analyse pertinente de la demande est d'identifier les zones les plus lucratives en se basant sur les revenus générés par les courses à l'origine de ces zones. Il va de soi que les zones générant plus de courses ont un potentiel de revenu plus important, toutefois les courses les plus longues en distance et les plus lucratives ont lieu aux petites heures du matin, entre 5 h et 7 h alors que la demande est la plus dispersée sur le territoire. Similairement, certaines zones plus éloignées peuvent générer des courses de plus grandes distances et donc des revenus par course plus importants.

La Figure 5.26 présente la carte des hexagones selon le revenu moyen généré par heure, calculé comme l'ensemble des courses annuelles à l'origine de l'hexagone divisé par le nombre d'heures dans une année. Les hexagones en jaunes sont les 10 présentant le plus grand nombre de courses annuelles (à l'origine) et le chiffre à l'intérieur représente le rang où 1 est le 1^{er} hexagone par nombre de courses.

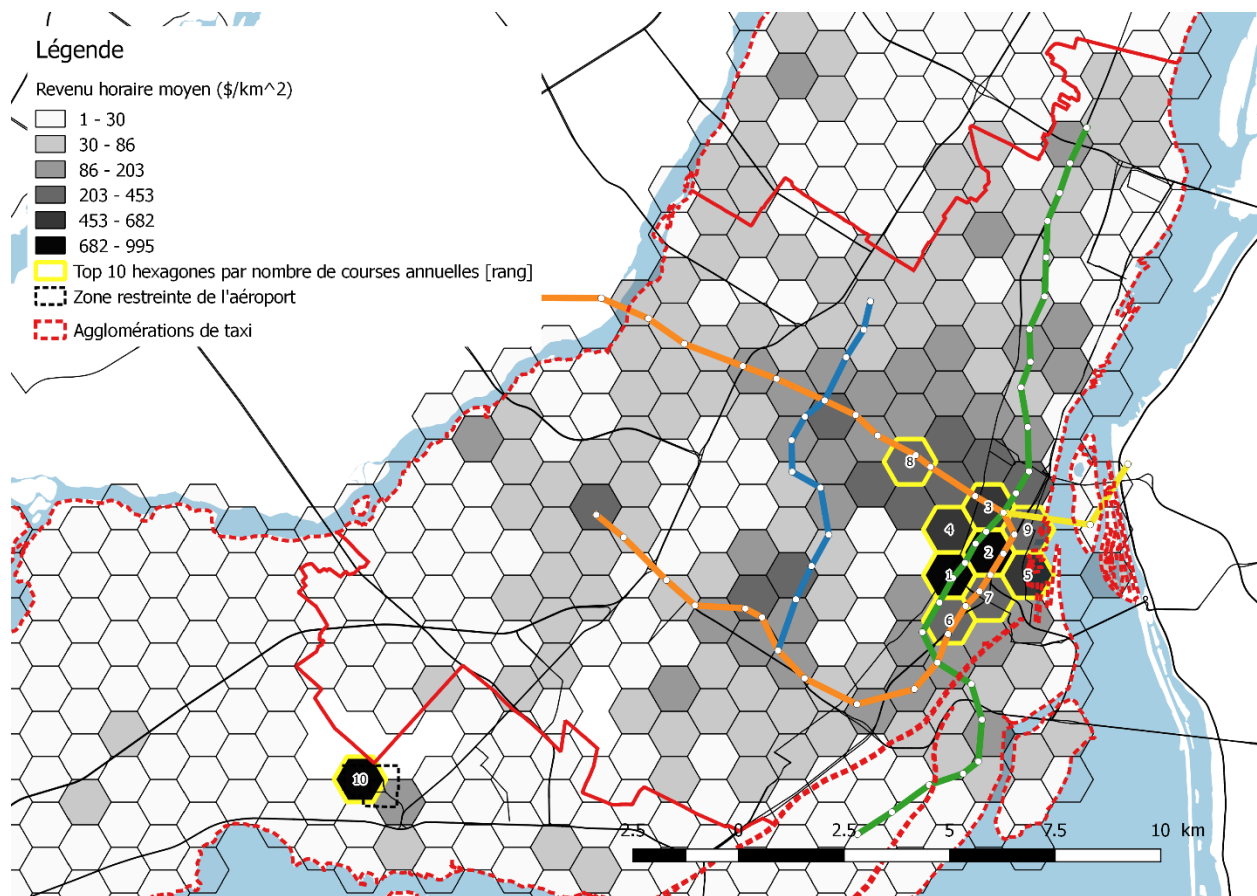


Figure 5.26 : Carte des revenus moyens horaires par km², 2016

Alors que ce sont les quatre hexagones du centre-ville qui génèrent le plus de course par jour en moyenne, c'est l'aéroport, pourtant 10^e hexagone selon le nombre de courses, qui génère le plus de revenus en raison de sa tarification spéciale et de sa localisation. Ainsi, alors que le nombre moyen de courses par heure à dans l'hexagone englobant l'aéroport (#10 sur la Figure 5.26) est d'environ 27, les revenus horaires moyens sont de 995 \$, soit 36 \$ par course en moyenne. Les quatre principaux hexagones de l'île, soit ceux du centre-ville, ont une moyenne de 57 courses par heure par km², mais génèrent des revenus moyens de 736 \$ par heure, soit 13 \$ par course en moyenne. Ces statistiques sont intéressantes, mais sont des moyennes journalières et ne tiennent pas compte de la variation horaire. Par exemple, les revenus moyens horaires de l'aéroport sont quasiment nuls durant la nuit (moins de 50 \$ / heure entre 3 h et 6 h) et peuvent atteindre 3 000 \$ par heure entre 17 h et 20 h le vendredi après-midi. La Figure 5.27 présente la répartition hebdomadaire du revenu horaire de l'hexagone rapportant le plus chaque heure.

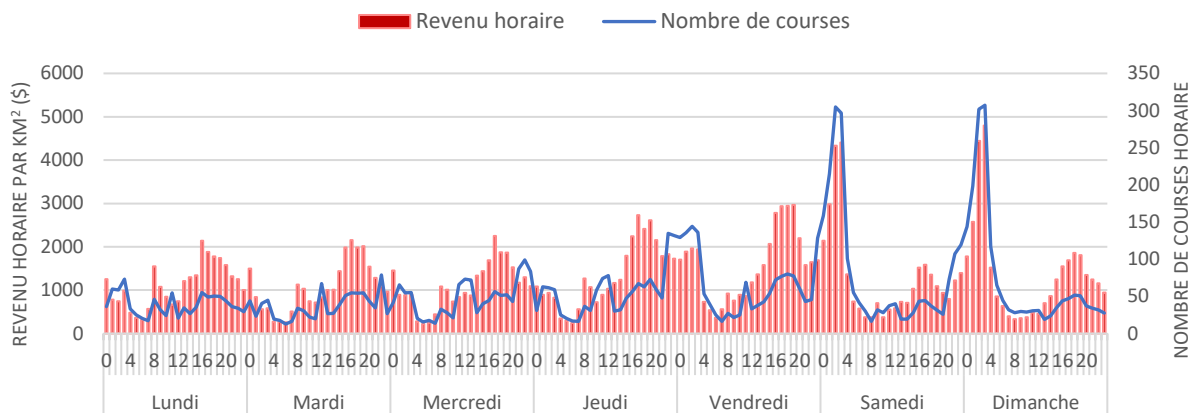


Figure 5.27 : Revenu horaire et nombre de courses horaire de l'hexagone le plus rentable de chaque heure

La majorité des pointes sont celles de l'aéroport à l'exception des pointes des nuits de vendredi à samedi et de samedi à dimanche. En somme, l'hexagone de l'aéroport est celui qui génère le plus haut revenu 91 heures sur 168. Les quatre hexagones suivant sont ceux du centre-ville, identifiés sur la carte de la Figure 5.26 comme 3^e (26 / 168 heures), 2^e (20 / 168 heures), 1^{er} (12 / 168 heures) et 4^e (11 / 168 heures). Si cette méthode permet d'identifier les secteurs générant les plus hauts revenus pour chaque heure de la semaine, elle ne prend pas en compte la compétition. Ces secteurs attirent évidemment beaucoup de taxis à la recherche de clients. Cette analyse des revenus et des zones lucratives est poursuivie à la section 0 où la disponibilité des taxis de la zone est prise en compte.

5.5.2 Analyse de l'offre

L'offre de service de transport par taxi se définit selon deux principaux indicateurs définis à la section 5.2.2. La première est la somme des heures de service offertes par l'ensemble des véhicules munis d'un permis de taxi. Elle comprend l'ensemble des heures d'opérations d'un véhicule sauf celle d'utilisation à des fins personnelles et celles où le chauffeur est en pause. La mesure de l'offre de service inclut donc les heures de service de transport adapté effectuées par un taxi. La deuxième mesure est l'offre de véhicules disponibles, soit la somme des heures où un véhicule est prêt à recevoir une course hélée ou commandée.

En 2016, les 4420 permis de taxis de l'Île de Montréal ont effectué 17 millions d'heures de service, dont 12,1 millions d'heures disponibles (71,1 %) pour prendre des clients. Ils ont parcouru 249,2

millions de kilomètres (1,67 fois la distance entre la Terre et le Soleil). En ramenant ces valeurs à une journée moyenne, ceci correspond à une offre de service de 46 430 véhicules-heures par jour, 33 050 véhicules-heures disponibles et 680 850 km parcourus. Le coefficient de variation de ces valeurs entre les jours de l'année est de 14,0 % pour la durée en service, 14,0 % pour la durée disponible et 11,5 % pour la distance.

5.5.2.1 Analyse temporelle de l'offre

Puisque l'offre s'ajuste en partie à la demande, celle-ci présente des variations entre les jours de la semaine et les heures de la journée. La Figure 5.28 présente la répartition hebdomadaire moyenne de l'offre de service (en véhicules-heures) et de l'offre de véhicules disponibles (en véhicules-heures). Les valeurs situées sous les jours de la semaine sur l'axe des abscisses représentent le total quotidien des heures de service.

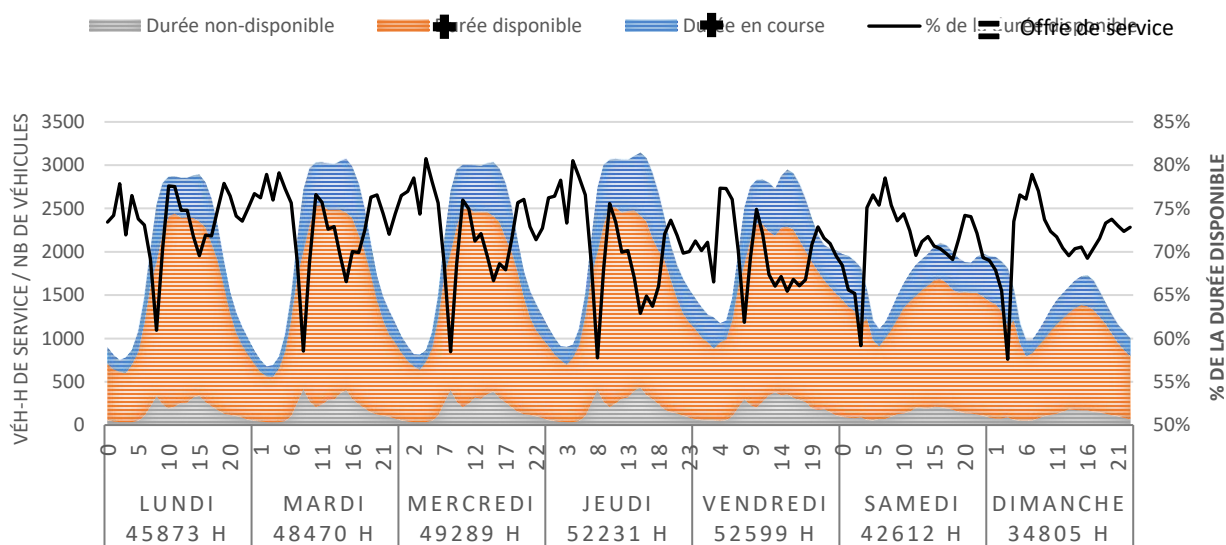


Figure 5.28 : Répartition hebdomadaire moyenne de l'offre de service et de l'offre de véhicules disponibles (Véhicules-heures)

Entre les jours de la semaine, les heures de service offertes sont plus élevées les jeudi (16 % de la semaine) et vendredi (16,1 % de la semaine) et considérablement plus basses le dimanche (10,7 % de la semaine).

La durée en service correspond à l'addition des durées disponibles, durées en course et durées non disponibles (la somme des courbes orange, bleu et grise). Le nombre de véhicules en service

correspond au nombre moyen de véhicules uniques pondérés identifiés dans les données pour chaque heure de la semaine. Si cette valeur est plus élevée que la durée en service c'est simplement parce que pour une heure donnée chaque véhicule n'est pas nécessairement actif sur l'ensemble des 60 minutes, ce qui entraîne une durée en véhicules-heures inférieure à la somme des véhicules. Les courbes de durées sont donc plus précises que la courbe de véhicules en service puisqu'elles tiennent compte des variations au sein de chaque heure. La courbe du pourcentage de la durée disponible correspond à la durée disponible divisée par la durée en service et peut-être interprétée comme la proportion moyenne de taxis disponibles pour chaque heure de la semaine. Cette courbe fait écho à la demande; ainsi, lors des heures de pointes matinales de semaine et lors des pointes de nuit du samedi et dimanche, la proportion de taxis disponibles descend légèrement en dessous de 60%. La disponibilité minimale (57,6%) de la semaine moyenne a lieu le dimanche entre 3 h et 4 h alors que la demande de taxis est maximale. À l'inverse, la proportion de disponibilité maximale a lieu le jeudi entre 4 h et 5 h du matin (80,5 %). À titre l'indicatif, le 1^{er} janvier 2016 entre 1 h et 2 h, la proportion de taxis disponibles était de 40,3 %. Finalement, sur l'ensemble des heures de la semaine, 8,6 % de l'offre de service a lieu lorsque les taxis sont en statut « non disponible ». Comme expliqué à la section 5.2.2, une incertitude importante existe sur ce que fait le chauffeur du véhicule durant ces heures : transport adapté, en route vers un client, retour vers sa zone, occupé à mettre de l'essence, en pause, etc. et pour ces raisons, ces heures sont incluses dans le calcul de l'offre de service.

Tout comme pour la demande, il convient de comparer de façon relative la répartition hebdomadaire de l'offre de service afin de voir si celle-ci est similaire entre les trois agglomérations de taxi. Les permis de l'agglomération A-11 (86,8% des permis) effectuent 87,7 % du service contre 7,0 % pour A-05 (7,2 % des permis) et 5,4 % pour A-06 (6,0 % des permis).

La Figure 5.29 compare la répartition hebdomadaire relative des trois agglomérations.

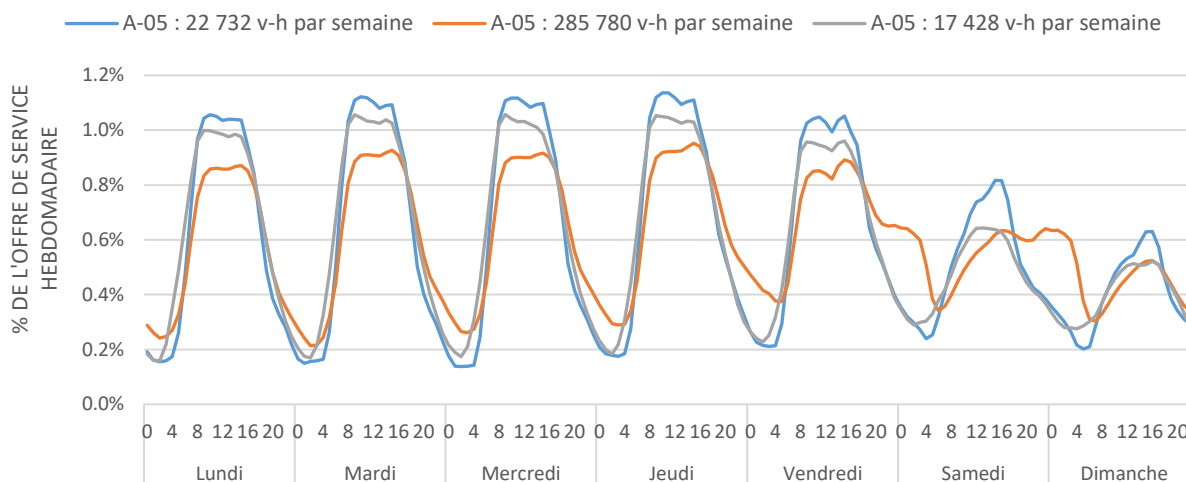


Figure 5.29 : Répartition hebdomadaire moyenne de l'offre de service, par agglomération, 2016

En somme, l'offre de service des agglomérations A-05 (Est) et A-12 (Ouest) est davantage concentrée durant les heures de bureau (entre 8 h et 16 h) que pour l'agglomération A-11 qui offre davantage de service en soirée et début de nuit.

5.5.2.2 Analyse spatiale de l'offre

Tout comme la demande, l'offre de service ne se répartit pas de façon homogène sur le territoire. Une première segmentation du territoire selon les secteurs municipaux est utilisée afin d'identifier les grandes variations entre les zones. La Figure 5.30 illustre la carte de l'offre de service (en véhicules-heures par jour par kilomètre carré). Ces valeurs moyennes sont calculées sur l'ensemble de l'année. Les numéros dans les polygones de la carte représentent l'identifiant unique du secteur municipal.

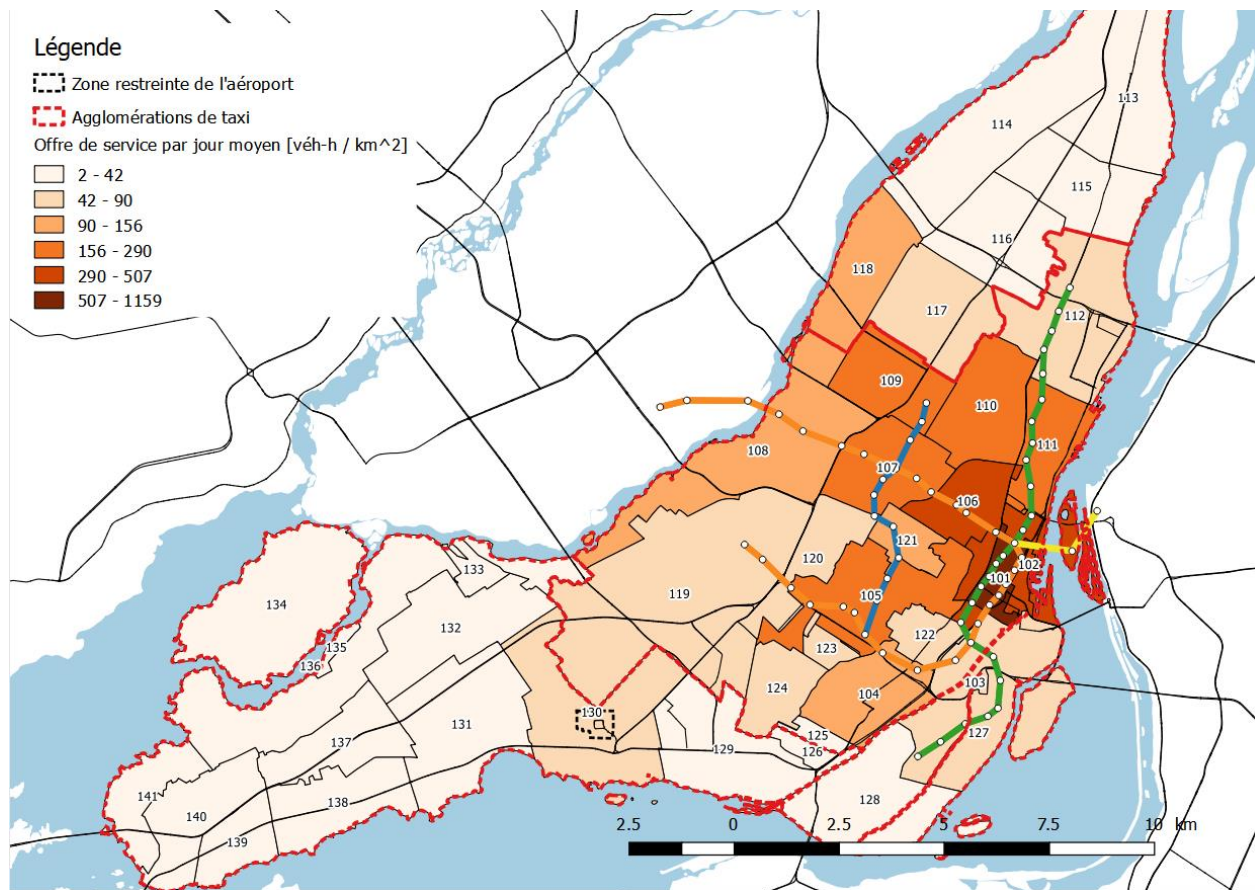


Figure 5.30 : Carte de l'offre de service de taxi en véhicules-heures par jour par km^2 des secteurs municipaux de l'enquête OD 2013

L'offre de service, tout comme la demande, est très concentrée autour du centre-ville. L'offre de service annuelle sur les deux secteurs du centre-ville (101 et 102) correspond à 19 % de l'ensemble de l'offre de l'île de Montréal. Plus largement, les secteurs du centre-ville, du Plateau-Mont-Royal (106), de Côte-des-neiges (105), de Villieray (107) et de Ville-Saint-Laurent (119) accueillent sur leur territoire 48,4 % de l'offre de service de l'ensemble du territoire.

L'offre de service par unité de superficie décline à mesure que l'on s'éloigne du secteur central du centre-ville (101). La Figure 5.31 compare l'offre de service des secteurs municipaux (en véhicules-heures moyen par km^2 par jour) avec la distance au centre-ville. Les secteurs municipaux sont ordonnés de gauche à droite en ordre décroissant de l'offre de service offerte par km^2 . L'axe de l'offre de service est logarithmique. La courbe de tendance de la distance au centre-ville (distance CV) des secteurs municipaux, ordonnancée de cette façon, affiche un R^2 de 0,714.

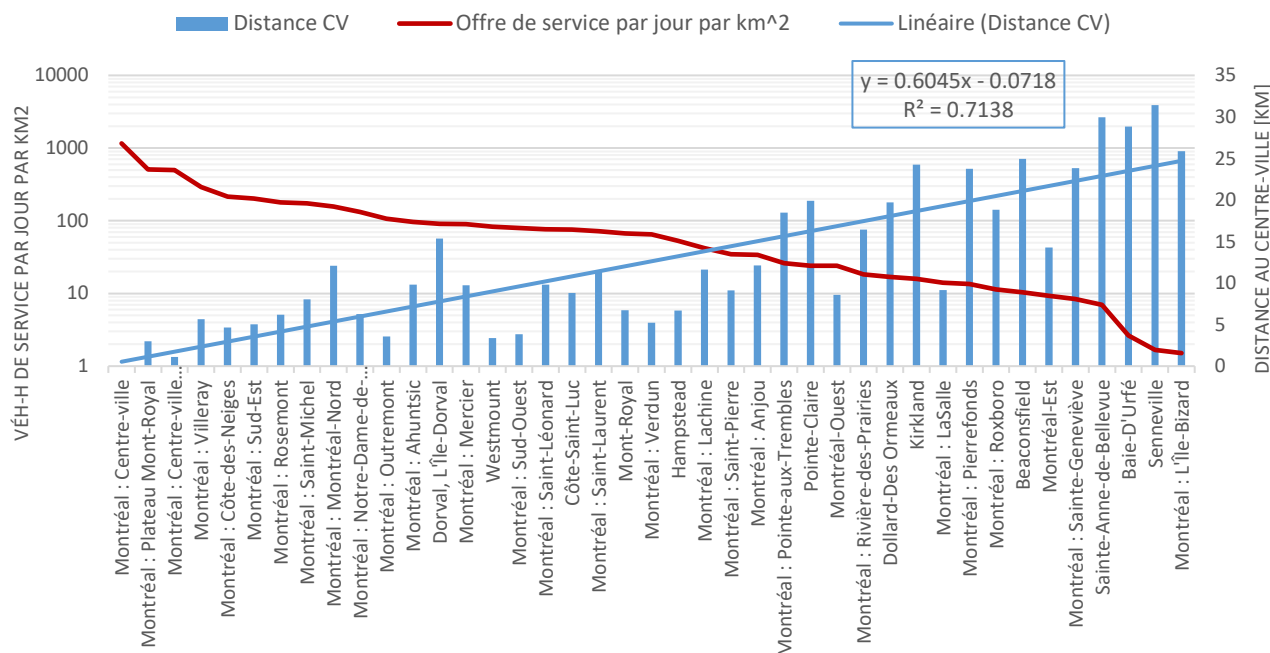


Figure 5.31 : Comparaison de l'offre de service en véhicules-heures par km² avec la distance au centre-ville (CV) des secteurs municipaux

Plus de calculs sont nécessaires pour valider la relation entre ces deux mesures, mais la distance au centre-ville semble une mesure pertinente à utiliser pour estimer l'offre de service sur un secteur donné pour une journée moyenne.

Finalement, la visualisation de la répartition de l'offre sur le territoire peut être raffinée en utilisant les mêmes hexagones d'un kilomètre carré que la demande. Cette carte est illustrée sur la Figure 5.32. Outre l'aéroport et le centre-ville qui, sans surprise, ont une offre de service très élevée, certains autres hexagones se distinguent de leurs voisins. Ces hexagones ont généralement sur leur territoire une ou plusieurs stations de métro et par conséquent, un ou plusieurs postes d'attente importants. Une analyse de l'offre aux postes d'attente permettrait probablement d'expliquer ces concentrations.

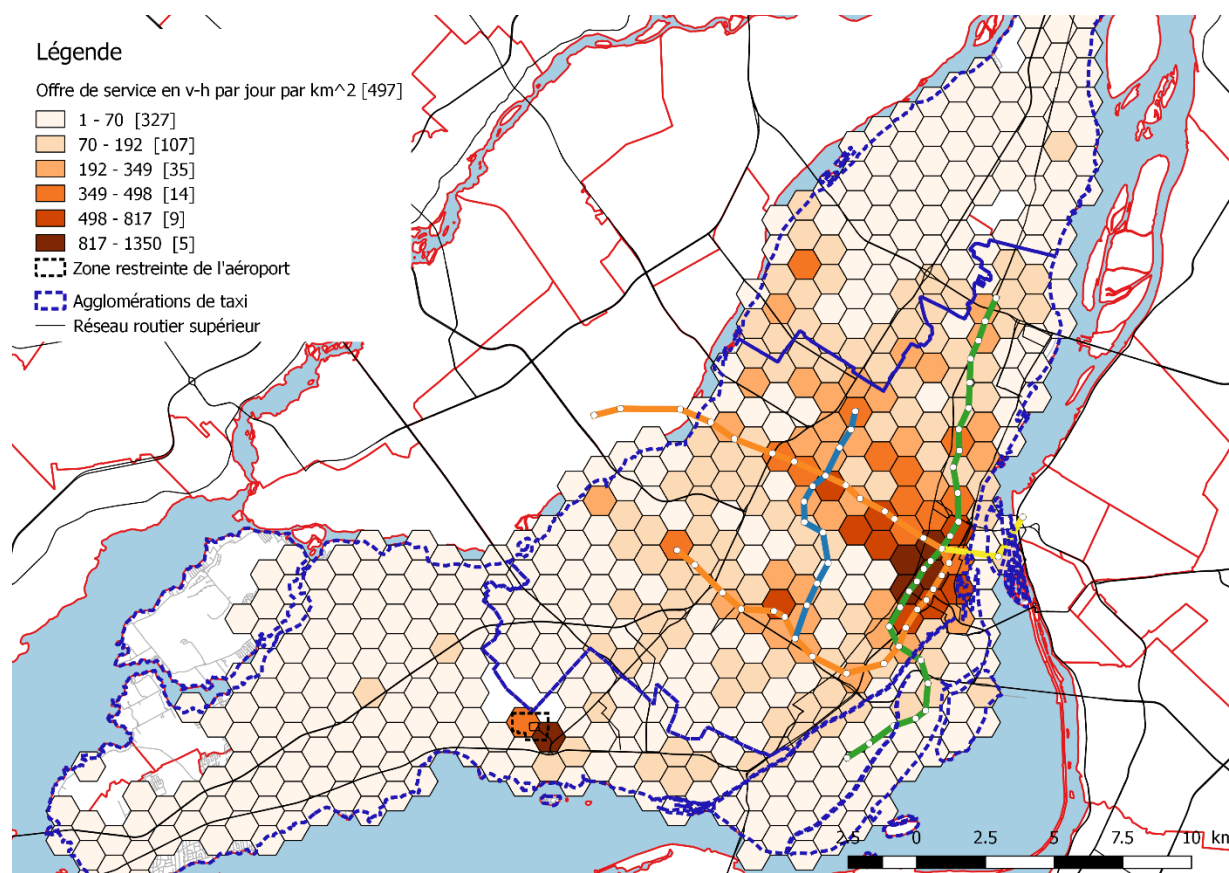


Figure 5.32 : Carte de l'offre de service (véhicules-heures par km²) pour un jour moyen

5.5.3 Comparaison de l'offre et de la demande

S'assurer d'un bon équilibre entre l'offre et la demande de taxi est important, car c'est cet équilibre qui permet d'un côté de préserver la qualité du service pour les clients, c'est-à-dire la possibilité d'obtenir un taxi dans un délai raisonnable, et de l'autre, d'assurer un revenu décent aux chauffeurs. En combinant certains indicateurs d'offre et de demande, il devient possible d'observer comment cet équilibre fluctue dans le temps et dans l'espace. Deux premiers indicateurs qui permettent de comparer l'offre et de la demande sont le pourcentage de la durée en service passé en course et le % de la distance totale parcourue en course. Ainsi, sur l'année complète, 16,6 % des 16,95 millions d'heures de service et 29,7 % des 249 millions de kilomètres sont réalisés avec un client ou des clients d'une course régulière de taxi à bord. Si ces valeurs peuvent paraître basses, il faut rappeler que les courses de transport adapté effectuées ne sont pas identifiables dans les données et que ce temps est compté comme du temps en service. Il est donc probable que le taux réel d'occupation des véhicules (% du temps avec passager à bord) soit un peu plus élevé. En excluant le temps passé

par les véhicules en statut non disponible (bien que ce statut puisse contenir du temps en service qui doit être comptabilisé, comme le retour à vide vers son agglomération), ce taux monte à 18,2 % des heures de service.

Ces indicateurs sont pertinents et sont intuitifs, toutefois, ils sont moins pratiques pour comparer les variations spatiales de l'équilibre entre l'offre et la demande, particulièrement dans le cas d'un découpage géographique très fin comme les hexagones. En effet, que vaut le pourcentage de la durée en course sur une zone d'un kilomètre carré par exemple? Pour cette raison, c'est un troisième indicateur de comparaison, soit le ratio du nombre de courses effectuées par véhicule-heure de service offert (VHS), qui est détaillé et analysé plus en détail dans la présente section. En reprenant les valeurs moyennes par jour calculées sur l'ensemble de l'année 2016 (36 676 courses par jour; 46 434 véhicules-heures de service par jour), ceci fait un taux moyen de 0,80 courses par heure de service. Évidemment, puisque l'offre et la demande de taxi varient grandement selon l'heure de la journée et le jour de la semaine, il convient d'observer ce ratio pour chaque heure de la semaine moyenne.

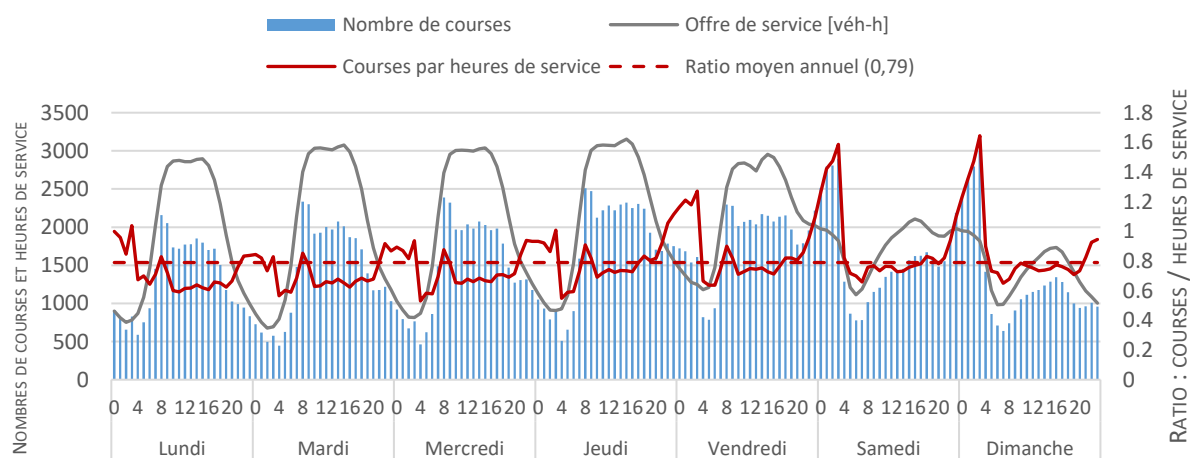


Figure 5.33 : Comparaison de l'offre de service et des courses effectuées

La Figure 5.33 présente la courbe moyenne de l'offre de service (en véhicules-heures), la courbe moyenne de la demande desservie (nombre de courses) et la courbe qui représente le ratio entre les deux. À noter que l'axe de gauche représente à la fois le nombre de courses et le nombre d'heures de service puisque l'ordre de grandeur entre ces deux unités est le même. Il est donc facile d'observer que ce sont les vendredi et samedi soirs qui présentent le ratio le plus élevé de courses par heure de service offert. En effet, même la pointe matinale de semaine n'est pas aussi critique

puisque davantage de véhicules sont en service à ce moment. Ainsi, malgré une demande plus généreuse, ces heures semblent moins populaires auprès des chauffeurs. À l'inverse, le ratio le plus faible survient la semaine en tout début de matinée entre 4 h et 7 h alors que le nombre de véhicules en service recommence à augmenter après la baisse de service nocturne.

Sur l'ensemble de l'année, l'offre est plus stable que la demande. Le Tableau 5.8 présente, par jour moyen de semaine, le nombre de courses, le nombre d'heures de services et le ratio courses / heures de service. Ces valeurs moyennes sont accompagnées de leur coefficient de variation (écart-type divisé par la moyenne). En somme, à l'exception du lundi qui compte plusieurs jours fériés, le coefficient de variation du nombre de courses par jour est presque deux fois plus élevé que le coefficient de variation de l'offre de service par jour. En d'autres mots, la demande varie beaucoup plus que l'offre. Autre observation intéressante, ce sont les journées de fin de semaine qui présentent le plus grand ratio de courses par véhicule-heure de service offert. En effet, les jours de fins de semaine représentent 27,5% de la demande moyenne hebdomadaire contre 23,8 % pour l'offre de service.

Tableau 5.8 : Comparaison de l'offre de service et de la demande desservie pour les jours de semaine moyens en 2016, (CV = Coefficient de variation)

	Nombre de courses		Offre de service [véh-h]		Ratio courses/véh-h	
	Moyenne	CV	Moyenne	CV	Moyenne	CV
Jour moyen	36 672	16.3%	46 434	14.0%	0.80	14%
Lundi	31 665	11.9%	45 873	10.5%	0.68	8%
Mardi	33 791	10.6%	48 470	4.8%	0.69	9%
Mercredi	35 603	9.9%	49 289	5.4%	0.71	9%
Jeudi	41 433	11.1%	52 231	4.6%	0.78	10%
Vendredi	43 781	12.0%	52 599	7.6%	0.82	11%
Samedi	38 838	10.0%	42 612	4.6%	0.90	7%
Dimanche	31 714	10.1%	34 805	5.6%	0.90	8%

Outre les journées moyennes, il est intéressant de voir comment l'offre s'adapte à la demande lors des journées extrêmes. La journée avec la plus forte demande en 2016 était le vendredi 16 décembre avec 57 334 courses, soit 31 % de plus que le vendredi moyen. L'offre de service pour cette journée était de 56 389 véhicules-heures, soit 7% de plus que le vendredi moyen. Conséquemment, le ratio de courses par heure de service était de 1,02 pour cette journée. Inversement, lors de la journée du 5 septembre, seulement 20 489 courses ont été effectuées (35 % de moins qu'un lundi moyen) alors que le nombre de véhicules-heures de service s'élevait à 29 250 (7,6 % de moins). Ainsi, le ratio

entre les deux était de 0,70 pour cette journée, ce qui est supérieur au lundi moyen. Sur l'ensemble du territoire en 2016, le ratio de courses par heure de service le plus élevé a eu lieu le 1^{er} janvier (1,29) et le plus faible le 14 novembre (0,60).

Il apparaît évident qu'en l'absence d'informations précises sur la demande, le chauffeur pourra faire le choix de travailler ou de ne pas travailler et pourra ajuster la durée de son quart de travail pour une journée donnée selon son expérience et de sa connaissance des variations de la demande. Ainsi, s'il peut savoir que certains jours fériés et jours de célébration (par exemple le soir de l'Halloween) ou certaines conditions météo (forte pluie, grand froid, tempête de neige) peuvent entraîner plus ou moins de courses que la moyenne, il serait très surprenant qu'un chauffeur, même très expérimenté, connaisse l'étendue exacte de cette variation. L'atteinte de l'équilibre entre l'offre et la demande qui passe par un meilleur ajustement de l'offre aux variations de la demande est une problématique abordée de façon récurrente dans la littérature (voir section 2.3). En d'autres mots, un meilleur ajustement de l'offre à la demande bénéficierait à la fois aux chauffeurs en augmentant leur revenu horaire et aux utilisateurs du taxi (uniquement dans les situations où il y a une pénurie de demande) en s'assurant de préserver un niveau de service respectable en tout temps.

L'indicateur calculé ici peut contribuer à identifier des pistes de solutions pour cette problématique complexe. Une analyse plus détaillée du ratio de courses effectuées par heure de service offert l'ensemble des journées qui prendrait en compte d'autres informations comme la météo, les jours fériés et les événements spéciaux pourrait permettre d'identifier comment l'offre s'adapte aux variations de la demande dans le temps sur l'ensemble de l'année. Les conclusions pourraient permettre notamment d'évaluer si des méthodes visant à inciter plus de chauffeurs à travailler lors des jours de forte affluence seraient bénéfiques pour s'assurer de préserver une offre de service de taxi équitable tout au long de l'année. Par contre, l'ajustement de l'offre à la baisse en période de plus faible demande est plus complexe. En effet, comment convaincre un chauffeur de ne pas travailler ou de réduire ses heures de travail alors même que s'il le fait, ceci augmentera le nombre de courses effectuées par ses collègues qui auront choisi de continuer à travailler.

Tout comme l'offre et la demande qui varient entre les trois agglomérations de taxi, les ratios entre les deux présentent aussi des profils hebdomadaires différents. Ainsi, les permis des agglomérations A-05, A-11 et A-12 effectuent respectivement 0,67, 0,65 et 0,81 courses par heure

de service. La Figure 5.34 illustre la répartition hebdomadaire moyenne du ratio des courses par heure de service pour les permis des agglomérations A-05, A-11 et A-12.

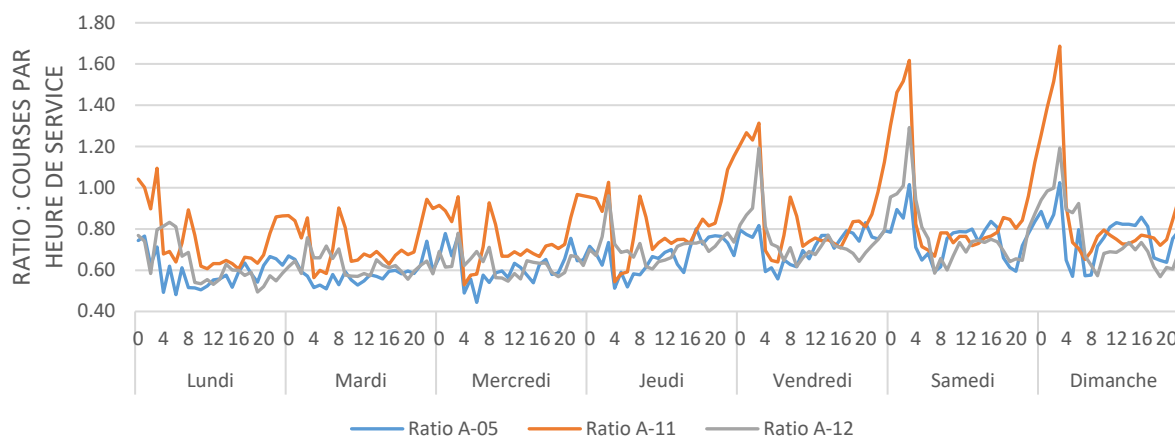


Figure 5.34 : Répartition hebdomadaire moyenne du ratio de courses par heures de service pour les trois agglomérations de taxi de Montréal

Les variations tout au long de la semaine sont plus importantes pour l'agglomération A-11 que pour les agglomérations A-05 et A-12.

5.5.3.1 Comparaison spatiale de l'offre et de la demande

La comparaison spatiale de l'offre de service et de la demande desservie vise à identifier les variations géographiques de cet équilibre. Pour ce faire, le premier indicateur présenté à la section précédente, soit le ratio de courses effectuées par véhicule-heure de service offert, est calculé d'abord par secteur municipal, puis, pour plus de précision, en utilisant la grille de découpage hexagonale.

La comparaison consiste à diviser le nombre de courses (selon les coordonnées à l'origine) pour chaque secteur par le nombre de véhicules-heures de service. Calculé sur l'ensemble de l'année, ceci donne le ratio moyen de courses débutant dans le secteur par véhicule-heure de service. La carte de ce ratio par secteur municipal est illustrée sur la Figure 5.35.

À l'échelle des agglomérations de taxi, le nombre de courses par véhicule-heure de service s'élève à 0,52 pour A-05, 0,87 pour A-11 et 0,58 pour A-12. Il est donc considérablement plus élevé pour l'agglomération centrale.

La segmentation spatiale suivante (Figure 5.36) utilise la grille hexagonale où chaque hexagone fait 1 kilomètre carré afin d'illustrer les zones où la demande est plus grande que l'offre.

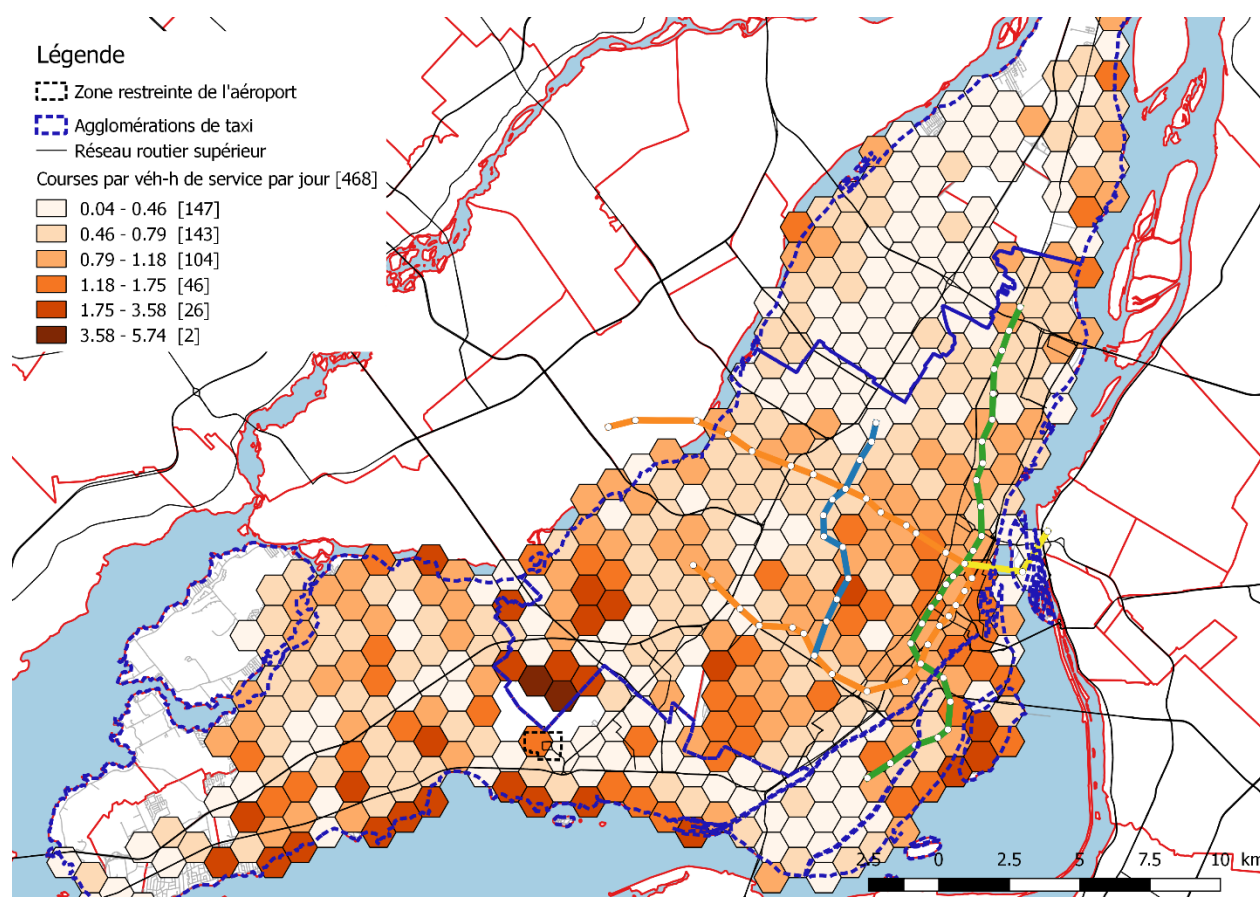


Figure 5.36 : Carte hexagones selon le nombre de courses (origines) par véhicule-heure de service, données agrégées pour une journée moyenne en 2016

La carte de la Figure 5.36 illustre une tendance beaucoup moins concentrée autour du centre-ville que les cartes précédentes. Il importe de mentionner que l'indicateur de courses par véhicule-heure de service est un ratio entre deux valeurs et que donc plus ces valeurs sont petites, plus le changement de l'une des deux valeurs, ne serait-ce que par une seule unité, aura un impact significatif sur le ratio. Ainsi, les zones avec le plus fort ratio sont généralement des zones n'ayant aucun poste d'attente, une demande faible et une offre très faible. À titre d'exemple, l'hexagone avec le plus haut ratio, situé dans Ville-St-Laurent derrière l'aéroport, comprend 21 courses en

moyenne par jour et une offre de service moyenne de 3,65 heures par jour, ce qui fait un ratio de 5,73 courses par heure de service. Dans cette situation précise, une heure additionnelle de service, à demande constante, ferait descendre le ratio à 4,5. En somme, la visualisation de ce ratio avec un découpage aussi précis semble être peu appropriée à l'échelle de l'île au complet puisque cet indicateur est très dépendant de la localisation des postes d'attente, mais aussi de l'échantillon utilisé. C'est-à-dire que même si les permis observés représentent une part respectable de l'ensemble des permis, certains secteurs précis peuvent être moins desservis par les trois intermédiaires observés et davantage observés par d'autres intermédiaires. Plus de détails sur cette limitation sont présentés dans la conclusion (section 7.2).

De plus, dans les zones où la densité de la demande est faible, la majorité des courses sont très probablement commandées par téléphone plutôt que hélées sur la rue. Par conséquent, dans ces zones, la mesure de la disponibilité dans un rayon de seulement un kilomètre autour des points de demande n'est donc pas une mesure adéquate de l'offre de service puisqu'un taxi situé quelques centaines de mètres plus loin, dans un autre hexagone, peut quand même être commandé en quelques minutes à peine.

La mesure de cet indicateur de comparaison de l'offre et de la demande peut toutefois s'avérer beaucoup plus utile au cœur de l'Île, là où la demande et l'offre sont beaucoup plus denses. La Figure 5.37 illustre la carte du ratio de courses par véhicule-heure de service, mais cette fois avec un zoom sur la zone centrale et un critère minimal de densité de courses par hexagone fixé à 50 courses par jour (soit la densité médiane de courses des 41 secteurs municipaux).

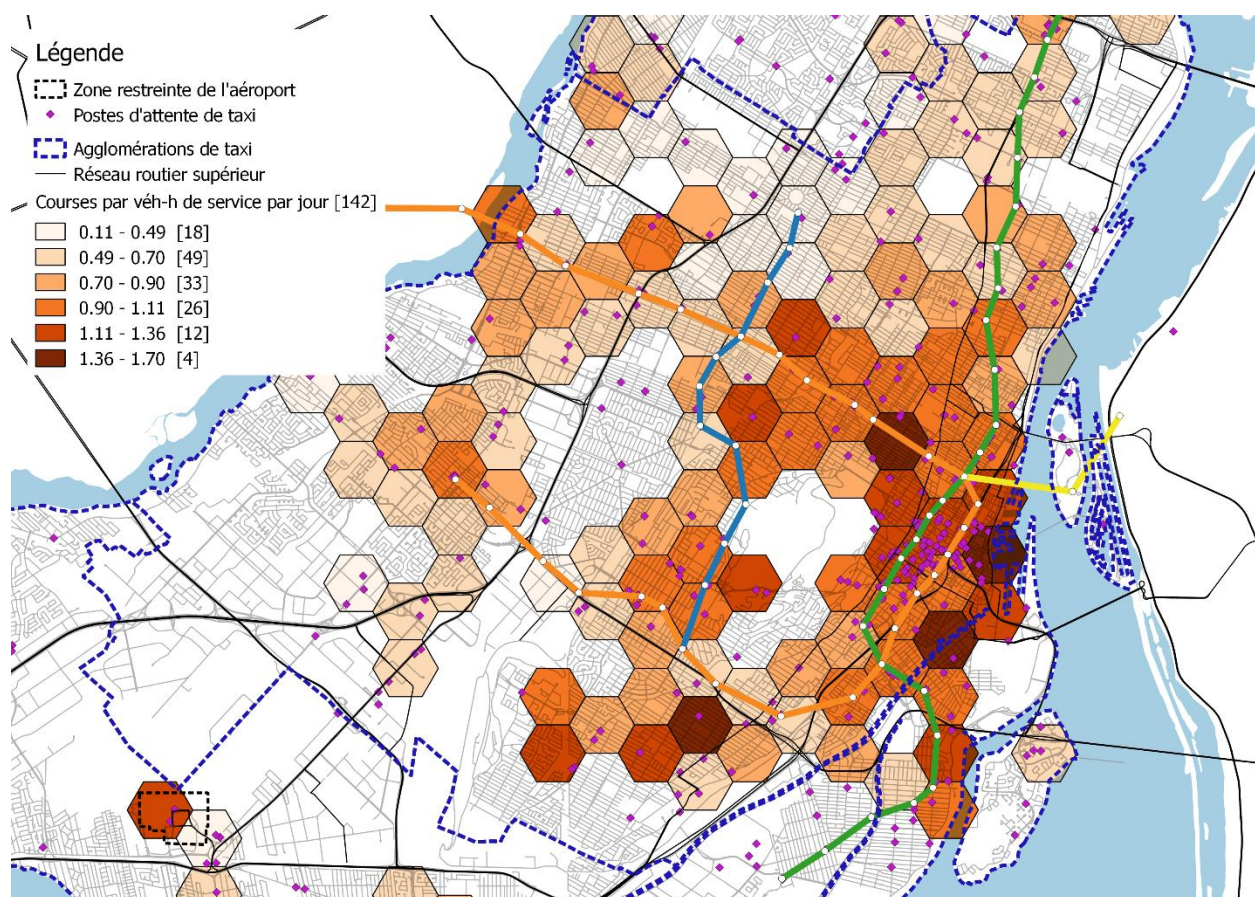


Figure 5.37 : Carte des hexagones selon le ratio de courses par véhicules-heure de service, hexagones avec au moins 50 courses par jour seulement

Dans la section de l'analyse de la demande, une analyse des revenus selon ce même découpage hexagonal est effectuée, permettant d'identifier les hexagones avec le plus grand potentiel de revenu par heure et par jour. En incorporant les données d'offre, il devient possible d'estimer la compétition pour ces revenus. En effet, si une zone génère beaucoup de revenus parce que le nombre de courses qui y débutent est élevé, ceci signifie aussi que de nombreux taxis s'y promènent à la recherche de clients. En somme, l'idée est donc d'identifier les hexagones où les revenus sont importants, mais la compétition entre taxis est faible. Les revenus par hexagones sont donc divisés par les véhicules-heures disponibles plutôt que par les véhicules-heures de service total. Toujours en utilisant le seuil de 50 courses par jour par km^2 , la carte de la Figure 5.38 illustre ce ratio de revenus par véhicule-heure disponible. Les zones avec le plus haut ratio peuvent être interprétées comme étant les zones où il est possible pour un chauffeur de faire un revenu plus élevé en cherchant le moins longtemps pour des clients.

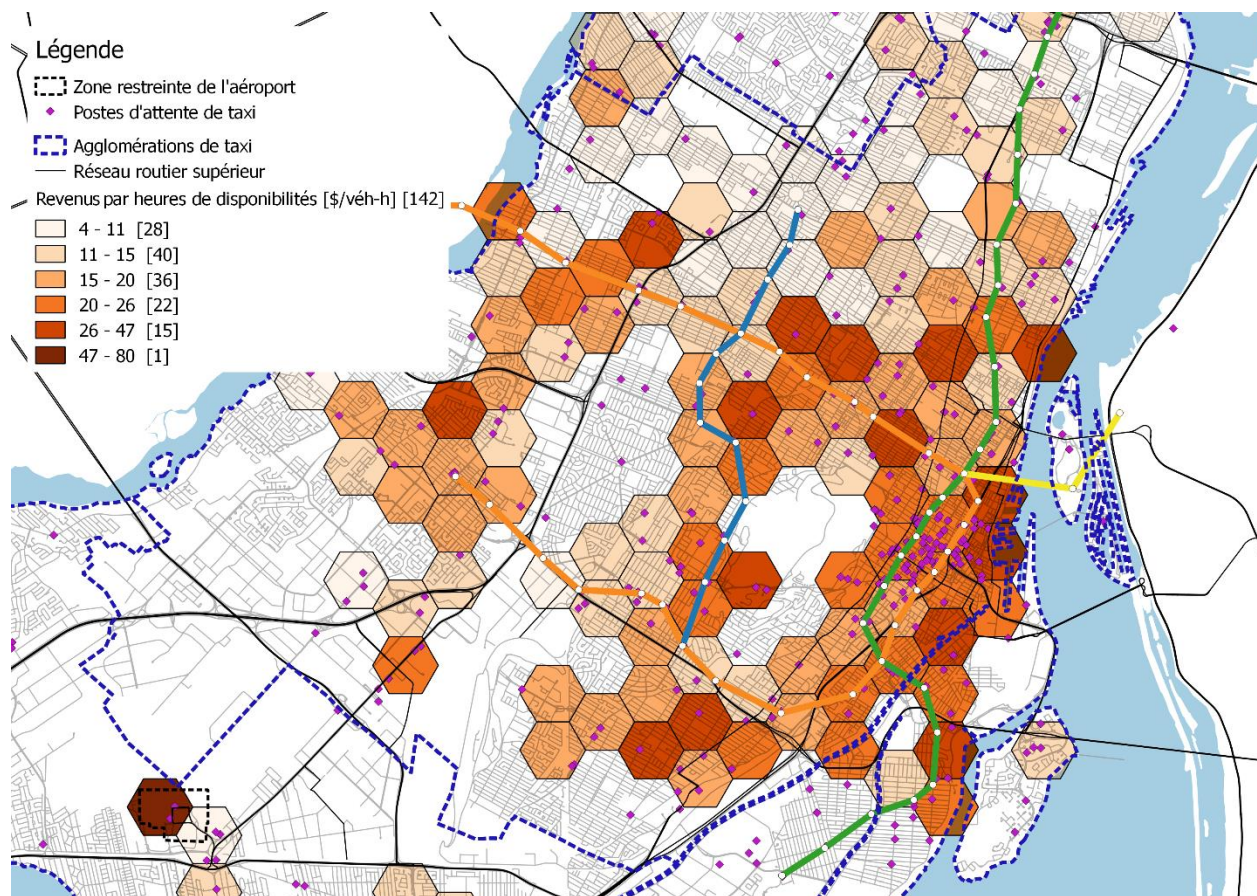


Figure 5.38 : Carte des hexagones selon le ratio du revenu généré par véhicule-heure disponible, Hexagones avec au moins 50 courses par jour seulement

L'hexagone de l'aéroport avait été identifié comme celui générant le plus de revenus par jour (23 900 \$ en moyenne), notamment en raison de sa tarification spéciale. Ainsi, même en tenant compte de l'importante offre de service qu'on y retrouve, l'aéroport est réellement dans une classe à part avec une moyenne journalière de 79,60 \$ par véhicule-heure disponible. Autre aspect intéressant, les quatre hexagones principaux du centre-ville ne sont pas les plus lucratifs selon cette mesure. Ceux-ci génèrent des revenus par véhicule-heure disponible d'environ 23 \$.

Cette méthode peut donc être raffinée et calculée pour une période plus précise que la journée moyenne. En regroupant par heure ou par groupe d'heures, il devient possible d'entrevoir quelles zones sont les plus lucratives à quel moment de la journée.

5.5.4 Indicateurs par véhicule et par chauffeur

Les indicateurs présentés et analysés jusqu'à présent donnent un aperçu de l'offre, de la demande et de la comparaison entre les deux sur l'ensemble des véhicules de Montréal ou sur les véhicules de chaque agglomération. Il convient de ramener ces indicateurs à l'échelle des deux objets au cœur d'un système de transport par taxi, soit le véhicule et le chauffeur. Chacun de ces deux objets possède sa page distincte dans le tableau de bord. La présente section illustre et analyse les faits saillants de ces statistiques agrégées sur l'ensemble de l'année pour les trois agglomérations de taxi de Montréal.

5.5.4.1 Indicateurs par véhicule

L'objet véhicule (ou taxi) est à la base de l'ensemble des indicateurs analysés jusqu'à présent et c'est cet objet qui est règlementé par un système de permis qui en limite le nombre. Les statistiques par véhicule sont donc d'un intérêt particulier pour le Bureau du taxi de Montréal, la Commission des transports du Québec et les intermédiaires en service. Parmi l'ensemble des indicateurs possibles, certains revêtent une importance particulière, car ils permettent de mesurer la productivité et le niveau d'activité des permis. Le premier indicateur présenté est le nombre de courses effectuées. De façon très agrégée, le nombre moyen annuel de courses effectuées par véhicule peut être calculé en divisant l'ensemble des courses en 2016 (13,42 millions) par le nombre de permis autorisés sur le territoire (4426 en moyenne pour les 12 mois de 2016). Ainsi, sur l'ensemble du territoire, le nombre moyen de courses effectuées annuellement par véhicule est de 3030. Les permis des agglomérations A-05 et A-12 font nettement moins de courses avec respectivement 2415 et 2300 courses annuelles contre 3135 pour A-11. Toutefois, pour pouvoir calculer la moyenne journalière, il faut s'assurer de compter uniquement les jours où le véhicule est en service. Pour les trois agglomérations combinées, la moyenne par jour actif est de 10,5 courses par véhicule avec un coefficient de variation entre les véhicules de 56 %. Calculé pour une semaine moyenne de 2016, c'est le vendredi où le nombre de courses par véhicule est le plus élevé (11,9 courses par véhicule) et le lundi où les véhicules font en moyenne moins de courses (9,0 courses par véhicule). Afin d'avoir un aperçu plus précis de cet indicateur, la distribution du nombre moyen de courses par jour et par véhicule pour chaque agglomération est illustrée à la Figure 5.39.

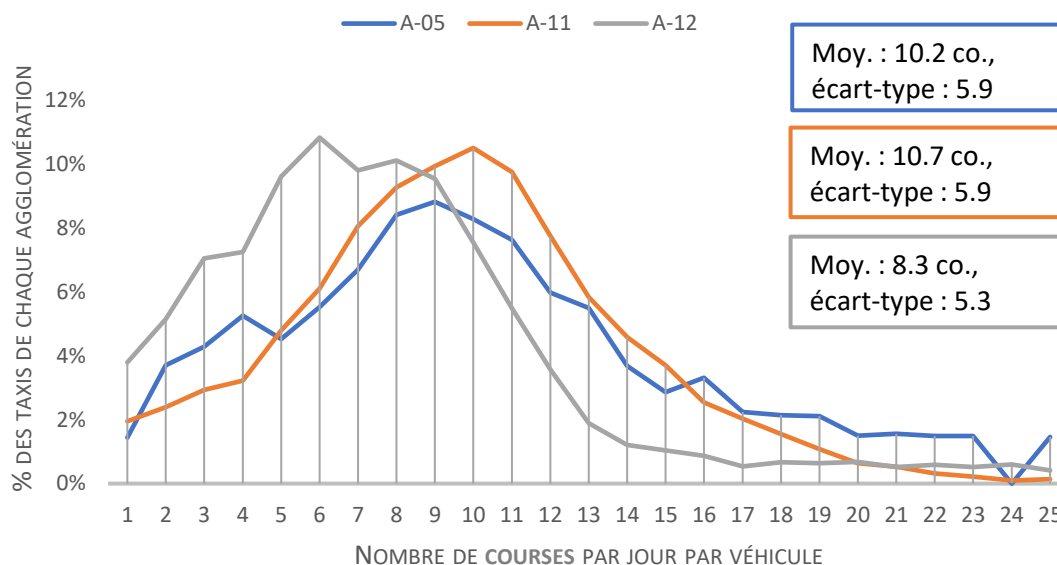


Figure 5.39 : Distribution du nombre de courses par véhicule par jour de service - moyenne journalière par agglomération en 2016

Malgré des formes de distribution différentes, les agglomérations A-05 et A-11 présentent un nombre moyen de courses par jour similaire alors que les permis de la zone A-12 font moins de courses par jour. Il importe de mentionner que cette moyenne plus basse peut-être attribuable à la présence des permis d'aéroport. Les permis d'aéroport (basé sur les permis d'aéroports observés pour A-11 et A-12) font en moyenne 5,5 courses par jour. Pour A-12 ces permis représentent 19,5 % des permis de l'agglomération contre seulement 5,6 % pour A-11. Dans le cas de l'agglomération A-05, aucun permis d'Aéroport n'est observé et par conséquent, ceux-ci sont estimés comme des permis réguliers (méthodologie expliquée à la section 4.4.2). La section suivante aborde plus en détail les activités de taxi à l'Aéroport de Montréal.

L'indicateur suivant est l'un des deux indicateurs associés à l'offre. Il s'agit de la distance moyenne parcourue par jour de service par véhicule. Pour l'ensemble des permis du territoire, cette moyenne est estimée à 178 km par véhicule par jour avec un coefficient de variation entre les véhicules de 52 %. La distribution pour chacune des trois agglomérations est illustrée à la Figure 5.40.

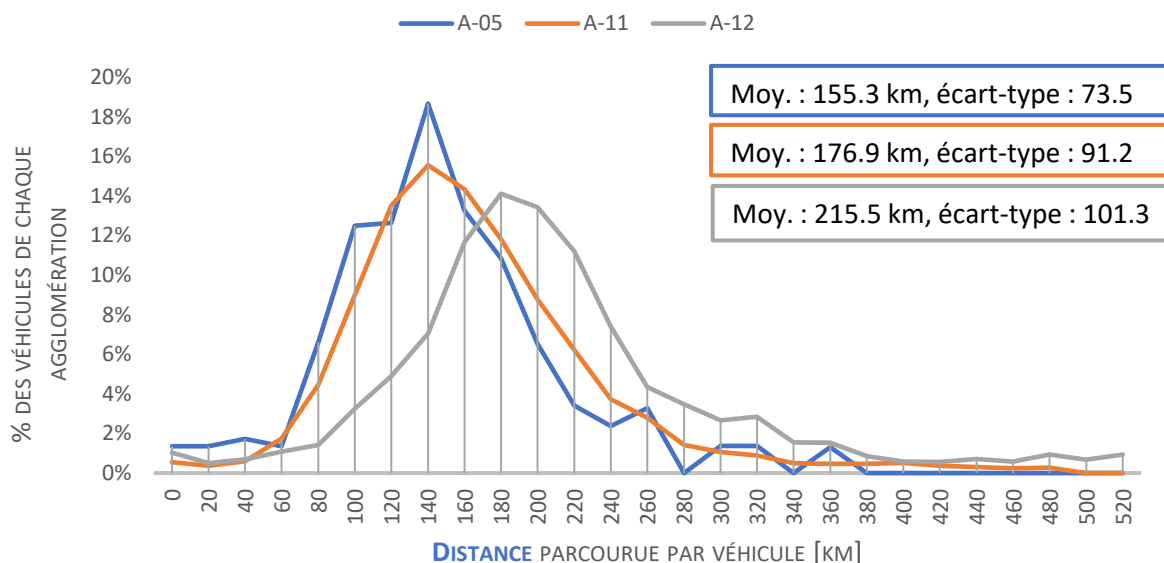


Figure 5.40 : distribution de la distance parcourue moyenne par véhicule par jour de service - moyenne journalière par agglomération en 2016

À l'œil, les distributions des distances parcourues par véhicule des agglomérations A-05 et A-11 sont d'apparence similaires. La distance moyenne est toutefois inférieure pour A-05. À l'inverse de l'indicateur de courses par véhicule, les permis de l'agglomération A-12 parcourent en moyenne plus de km chaque jour.

Le deuxième indicateur d'offre est la durée moyenne en service par véhicule par jour. Comme pour les deux indicateurs précédents, la valeur moyenne par véhicule est calculée uniquement sur les jours en service de chaque véhicule et non sur l'ensemble des jours de l'année. Ainsi, pour le territoire complet, la durée moyenne en service par véhicule pour un jour moyen de 2016 est de 11,4 heures avec un coefficient de variation entre les véhicules de 43,4 %. De cette durée moyenne, une proportion de 16,6 % seulement est passée en course. La Figure 5.41 illustre la distribution de la durée en service par véhicule.

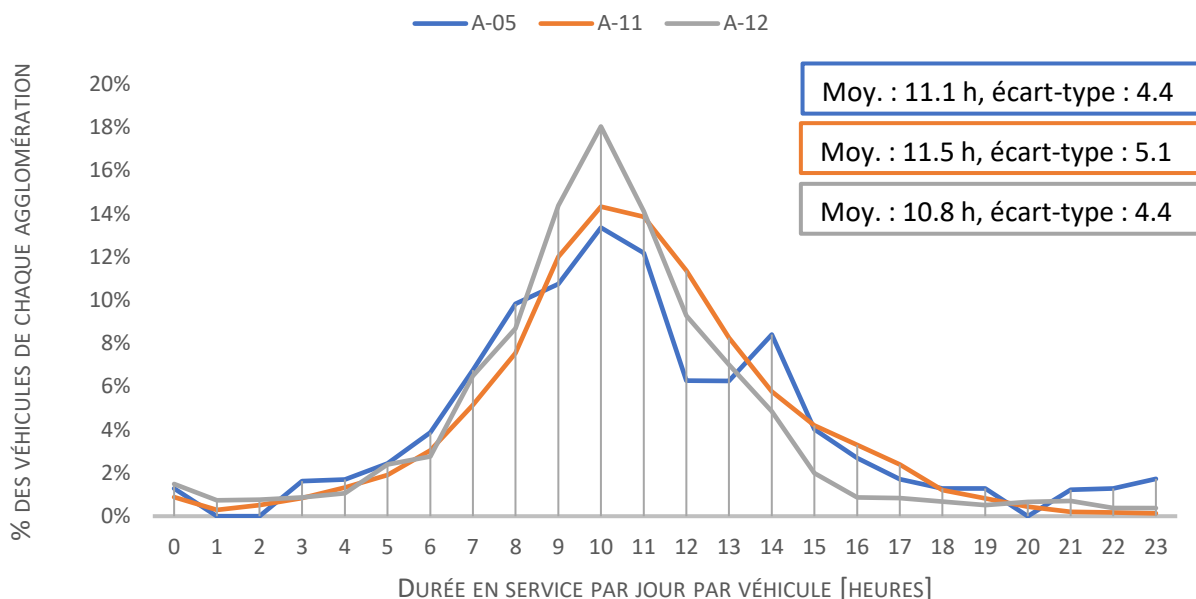


Figure 5.41 : Distribution de la durée moyenne en service par véhicule par jour de service - moyenne journalière par agglomération en 2016

Contrairement aux autres indicateurs par véhicule, les durées moyennes pour les trois agglomérations sont proches mais celles pour l'agglomération sont légèrement plus faible.

Une analyse plus détaillée de l'utilisation des permis et de la durée en service est présentée au Chapitre 6.

5.5.4.2 Indicateurs par chauffeur

Le second objet au cœur d'un système de transport par taxi est le conducteur du véhicule. À Montréal, les statistiques du Bureau du taxi de Montréal en date du 31 décembre 2015 indiquent qu'environ 10 000 chauffeurs de taxi sont enregistrés et peuvent donc conduire l'un des 4425 permis réguliers et des 655 permis restreints de taxi (Bureau du Taxi de Montréal, 2016). Dans les données des trois intermédiaires en service de taxi à Montréal utilisées pour ce mémoire, environ 2800 chauffeurs uniques sont identifiés. À noter qu'une limitation des indicateurs par chauffeur est liée aux particularités des données reçues. En effet, les identifiants des chauffeurs sont uniques et internes à chaque intermédiaire et un chauffeur utilisant des véhicules de deux intermédiaires différentes sera considéré comme deux chauffeurs distincts. Le nombre d'occurrences de ce cas de figure est impossible à estimer.

En pondérant ces 2800 chauffeurs en fonction des permis qu'ils utilisent, ceux-ci correspondent à 8340 chauffeurs en tout, soit 1650 de moins que le nombre officiel du BTM. Deux hypothèses peuvent expliquer cette différence entre le nombre de chauffeurs des données officielles et celui calculé à partir des données. La première est qu'un certain nombre de chauffeur enregistrés auprès du BTM sont inactifs et la seconde est que les permis indépendants et des autres intermédiaires sont conduits par plus de chauffeurs que ceux des intermédiaires observés.

Néanmoins, il est tout de même possible de calculer plusieurs indicateurs clés afin de décrire les activités des chauffeurs de taxis de Montréal. Trois indicateurs principaux sont présentés dans la présente sous-section : la durée en service par jour par chauffeur, le nombre de courses par jour de travail et le revenu horaire calculé comme la somme des revenus de courses divisés par le nombre d'heures de travail pour une journée moyenne de 2016. Bien que la distance parcourue par chauffeur pourrait aussi être calculée, il est choisi de ne pas le faire puisqu'il est plus pertinent de le faire par véhicule. Calculer la distance parcourue par chauffeur pourrait s'avérer utile pour estimer les coûts en essence engendrés par la conduite du véhicule. Ces coûts pourraient être soustraits des revenus des voitures afin d'estimer le salaire horaire net des chauffeurs. Cette analyse n'est toutefois pas effectuée dans le cadre du présent mémoire.

Ainsi en 2016, les chauffeurs de l'ensemble du territoire de Montréal ont effectué en moyenne 8,1 courses par jour de travail avec un coefficient de variation entre les journées moyennes des chauffeurs de 67 %. Ces courses sont effectuées en moyenne en 10,3 heures de travail (C.V. de 39 %), ce qui fait 0,78 course par heure de travail. Au niveau des revenus, ces courses génèrent un revenu horaire brut de 11,40 \$. À noter évidemment que tous les revenus estimés dans le chapitre 5 n'incluent pas le pourboire.

Au cours d'une semaine moyenne, la même tendance peut être observée que pour les véhicules, c'est-à-dire que la durée moyenne de travail des chauffeurs est maximale le jeudi (10,9 heures) et minimale le dimanche (8,7 heures). Le nombre de courses effectuées par jour est maximal le vendredi (9 courses) et minimal le lundi (7 courses). Puisque moins de chauffeurs sont sur la route le dimanche, le revenu moyen par heure travaillée est le plus élevé pour cette journée (12,80 \$ / heure) et est au plus bas le lundi (10,10 \$ / heure).

Pour comparer ces indicateurs entre les chauffeurs des trois agglomérations de taxi, les distributions, données moyennes et écart-type sont présentés aux figures ci-dessous. La Figure 5.42

illustre la distribution du nombre de courses par jour, la Figure 5.43 la distribution de la durée en service et la Figure 5.44 la distribution du salaire horaire. Ces distributions représentent un jour moyen de 2016.

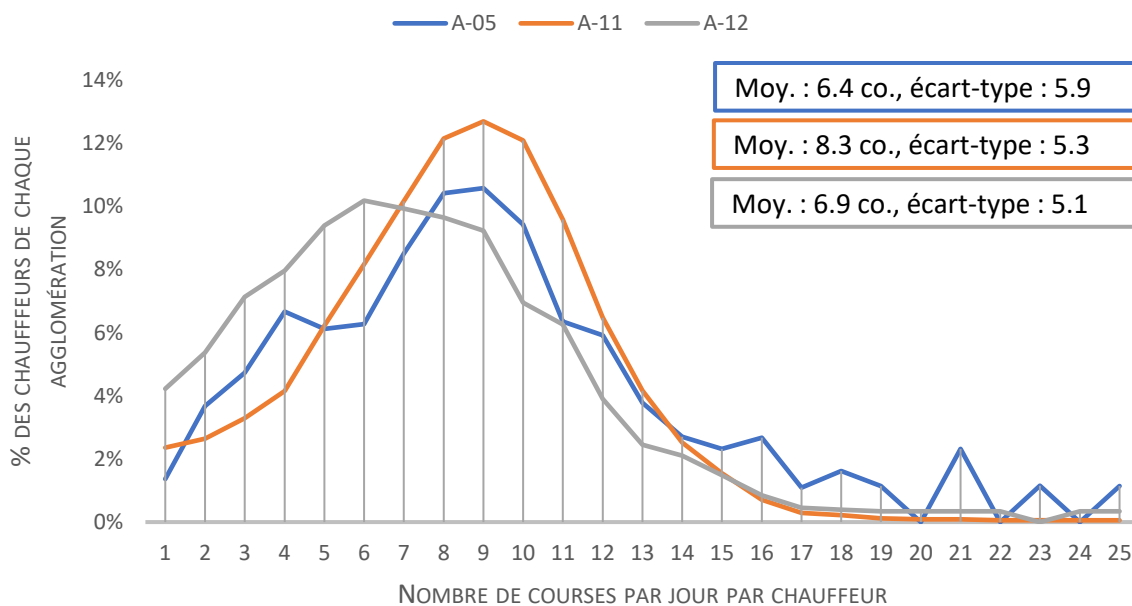


Figure 5.42 : Distribution du nombre moyen de courses par chauffeur par jour - jour de travail moyen en 2016 – Par agglomération du permis

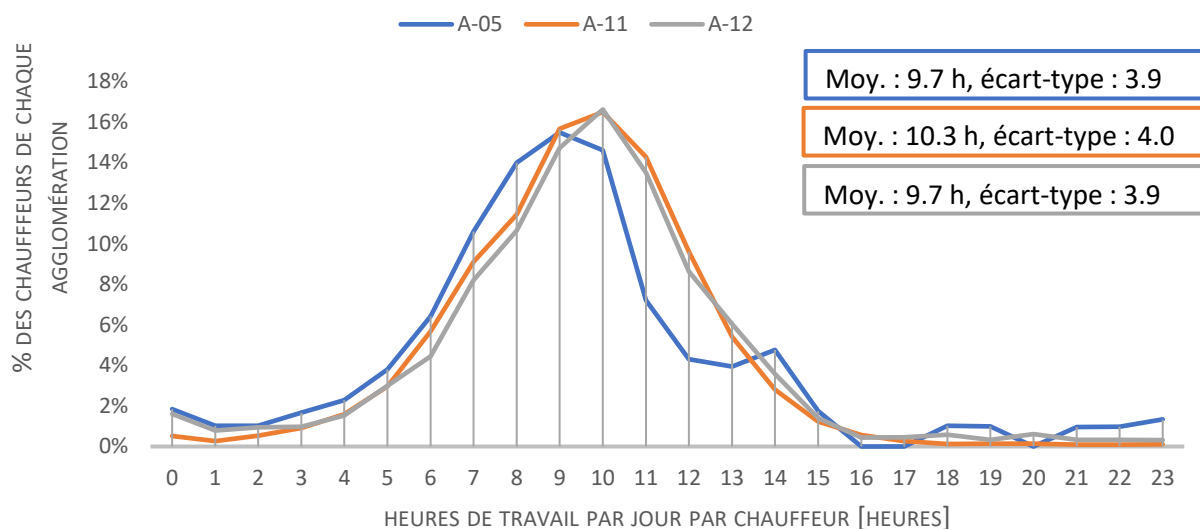


Figure 5.43 : Distribution du nombre d'heures travaillées par chauffeur par jour - jour de travail moyen en 2016 – Par agglomération du permis

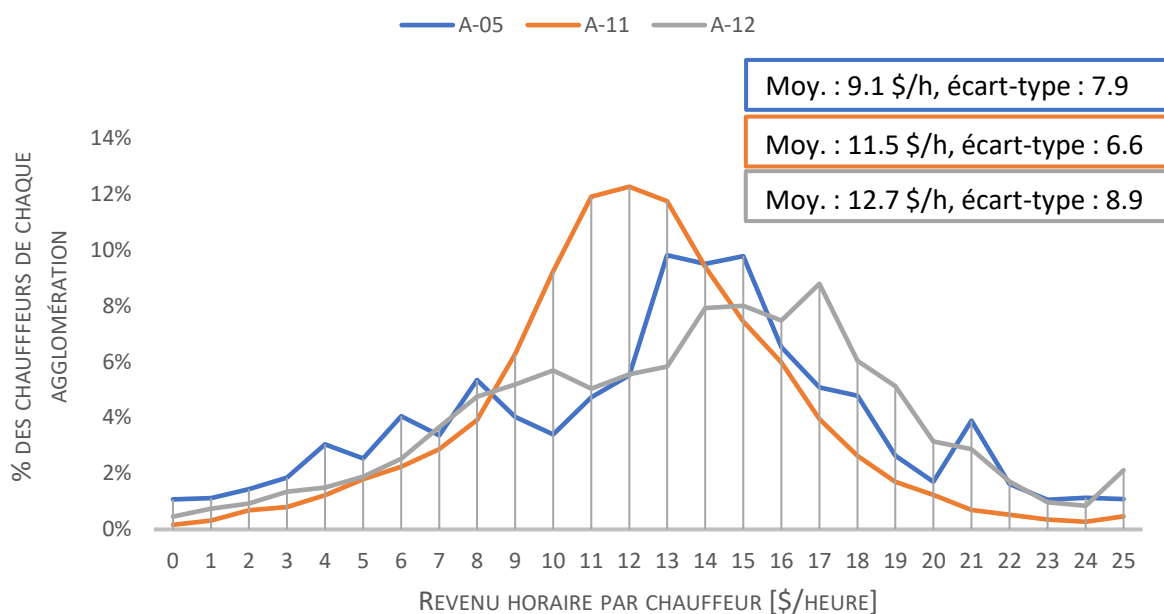


Figure 5.44 : Distribution du revenu horaire moyen par chauffeur par jour - jour de travail moyen en 2016 – Par agglomération du permis

Alors que les heures travaillées par les chauffeurs des trois agglomérations sont similaires (environ 10 h par jour de travail), le nombre de courses effectuées par les chauffeurs des agglomérations A-

12 et A-05 est inférieur au nombre de courses effectuées par les chauffeurs au volant de taxis de l'agglomération A-11. Comme les revenus dépendent de la longueur et de la durée des courses, les chauffeurs conduisant des véhicules de l'agglomération A-12 (dont les courses sont plus longues en distance et en temps) ont un revenu horaire plus élevé que pour les deux autres agglomérations. Les revenus des chauffeurs de véhicule A-05 sont pour leur part moins élevés.

Finalement, la comparaison des trois distributions permet d'observer que certains chauffeurs ne font que très peu d'heures de travail et très peu de courses. Le très peu d'heure de travail pourrait signifier que ces chauffeurs conduisent principalement des véhicules d'autres intermédiaires et font très peu d'heure avec les véhicules des intermédiaires observés. Pour le très faible nombre de courses, il pourrait s'agir de chauffeur qui font des courses de transport adapté qui ne peuvent pas être observées dans les données.

5.5.5 Analyse des déplacements entre les agglomérations

À Montréal, les agglomérations de taxi existent afin d'assurer un service dans l'Est et dans l'Ouest de l'île, là où la demande est beaucoup moins importante. La réglementation permet les déplacements entre les agglomérations à condition qu'au moins l'une des extrémités soit dans l'agglomération du permis. Dans le cas des courses hélées ou débutant à un poste d'attente, l'origine doit être l'agglomération du permis. En somme, un déplacement vers une autre agglomération a de fortes chances d'entraîner un retour à vide vers son agglomération puisqu'il est interdit de prendre un client sur la rue ou à un poste d'attente et que les chances de recevoir une course par répartition téléphonique pour un retour vers sa zone sont probablement très faibles.

Une matrice OD cinq par cinq est donc construite afin d'analyser les déplacements entre les agglomérations. Pour cette analyse, la zone restreinte de l'Aéroport est considérée une zone à part entière, distincte de l'agglomération A-12. La cinquième zone est le hors-zone, soit tous les déplacements dont l'origine ou la destination sont situées hors de l'île de Montréal.

La première matrice (Tableau 5.9) présente la répartition, en pourcentage, des destinations de l'ensemble des déplacements de 2016 depuis chaque zone.

Tableau 5.9 : Répartition des destinations de l'ensemble des déplacements de 2016 depuis chaque zone d'origine

% des origines		Destination					Course par jour	
		A-05	A-11	A-12	Aéroport	Hors-Mtl	TOTAL	NB
Origines	A-05	65.9%	30.6%	0.2%	1.2%	2.1%	100%	2233
	A-11	2.7%	89.4%	1.5%	3.9%	2.4%	100%	32395
	A-12	0.3%	18.7%	64.5%	14.3%	2.2%	100%	1739
	Aéroport	2.5%	64.7%	15.4%	1.0%	16.4%	100%	667
	Hors-Mtl	9.6%	47.4%	6.2%	10.5%	26.2%	100%	97
TOTAL							100%	37130

Le premier élément à noter c'est qu'en l'absence de permis d'aéroport de l'agglomération A-05 observé dans les données, il est très probable que le nombre de courses entre cette zone et l'aéroport soit sous-estimé. Outre cette limitation, il est intéressant de constater qu'environ 65 % des déplacements à l'origine des agglomérations A-05 et A-12 sont des déplacements internes alors que cette proportion est de 89 % pour l'agglomération A-11.

La matrice suivante (Tableau 5.10) calcule la proportion des déplacements selon leur provenance se destinant vers chaque zone.

Tableau 5.10 : Répartition des zones d'origines pour chaque zone de destination

% des destinations		Destination					TOTAL
		A-05	A-11	A-12	Aéroport	Hors-Mtl	
Origines	A-05	62.0%	2.2%	0.3%	1.7%	4.7%	
	A-11	36.6%	95.1%	28.8%	81.4%	78.2%	
	A-12	0.2%	1.1%	64.7%	15.9%	3.8%	
	Aéroport	0.7%	1.4%	5.9%	0.4%	10.9%	
	Hors-Mtl	0.4%	0.2%	0.3%	0.6%	2.5%	
TOTAL		100%	100%	100%	100%	100.0%	
Courses par jour		2371	30453	1733	1569	1005	37130

Cette matrice permet de confirmer l'influence de l'agglomération centrale sur les agglomérations A-05 et A-12. Par exemple, alors que seulement 2,7% des déplacements à l'origine de la zone A-11 se destinent à A-05, ceci équivaut à 36,6% des courses se destinant vers cette zone.

Sur l'ensemble des déplacements, 85 % ont une origine et une destination dans la même agglomération, ce qui signifie que 15 % des déplacements s'effectuent entre deux zones et ont donc un retour à vide presque assuré. Il serait intéressant de voir comment ces proportions varient en fonction de l'heure de la journée du jour de la semaine.

En utilisant la même matrice, il est aussi possible de calculer la distance, la durée et le prix moyen par course entre chaque zone. Il est évident que les courses interzones auront des distances, durées et prix moyens plus élevés que les courses intra zones. Seuls les prix moyens par courses sont présentés au Tableau 5.11.

Tableau 5.11 : Revenu moyen par course en fonction de l'origine et de la destination.

	Destination					TOTAL	NB course
	A-05	A-11	A-12	Aéroport	Hors-Mtl		
Origines	A-05	10.34 \$	19.77 \$	61.61 \$	50.15 \$	27.98 \$	14.18 \$ 2233
	A-11	20.27 \$	11.70 \$	31.40 \$	32.65 \$	31.74 \$	13.54 \$ 32395
	A-12	67.61 \$	32.50 \$	13.30 \$	23.16 \$	50.59 \$	19.30 \$ 1739
	Aéroport	49.20 \$	34.29 \$	23.58 \$	26.52 \$	54.93 \$	36.32 \$ 667
	Hors-Mtl	26.92 \$	43.40 \$	53.19 \$	50.80 \$	18.56 \$	36.70 \$ 97
TOTAL		14.46 \$	12.47 \$	19.39 \$	31.53 \$	34.46 \$	14.32 \$
NB course		2371	30453	1733	1569	1005	37130

5.5.6 Analyse de l'aéroport

Grâce à la soixantaine de permis d'aéroport observés dans les données, il est possible d'analyser pour la première fois les déplacements de taxi à l'origine de l'aéroport ainsi que l'offre de service offerte à l'aéroport. De plus, l'ensemble des permis utilisés pour analyser les déplacements à destination de l'aéroport. Certains indicateurs calculés dans les sections précédentes ont permis de démontrer l'importance de cette zone spéciale pour le marché du taxi montréalais. Au niveau spatial, l'aéroport se démarque par une densité de courses et une densité d'offre de service qui se compare au centre-ville. Les statistiques de courses pour l'aéroport sont présentées au Tableau 5.12.

Tableau 5.12 : Statistiques sur les courses et revenus générés par l'aéroport

	À l'origine de l'Aéroport	À destination de l'Aéroport
Nombre de courses en 2016	243 600	573 500
Revenus générés en 2016	8,85 millions \$	18,09 millions \$
% des courses A-05	2,5 %	1,7 %
% des courses A-11	64,7 %	81,4 %
% des courses A-12	15,4 %	15,9 %
% des courses Hors-Montréal	16,4 %	0,6 %

Il importe de rappeler que seuls les taxis munis d'un permis d'aéroport peuvent prendre des clients dans la zone restreinte de l'aéroport (Figure 3.3). Seulement 62 de ces 320 permis réguliers (19,3%) des permis d'aéroport sont observés dans les données. En raison des revenus importants que génèrent les courses à l'origine de l'aéroport, il est possible que la majorité des taxis munis d'un permis d'Aéroport ne soit pas affiliée à un intermédiaire en service. C'est hypothèse est d'ailleurs validée pour l'Agglomération A-12 alors que Coop de l'Ouest et Diamond de l'Ouest sont les seuls intermédiaires de taxi réguliers actifs dans cette agglomération. Ainsi, malgré l'observation de l'ensemble des taxis associés à un intermédiaire pour cette agglomération, seulement 38 % des 52 permis d'Aéroport de celle-ci sont observés dans les données et donc affiliés à un intermédiaire. Cette proportion est de 99 % pour les réguliers qui ne sont pas munis d'un permis d'aéroport. En sommes, les courses liées par l'origine ou par la destination à l'aéroport représentent 6 % de l'ensemble des courses de Montréal et 13,9 % des revenus. La répartition hebdomadaire moyenne de ces courses est illustrée à la Figure 5.45. L'heure affichée est l'heure du début de la course.

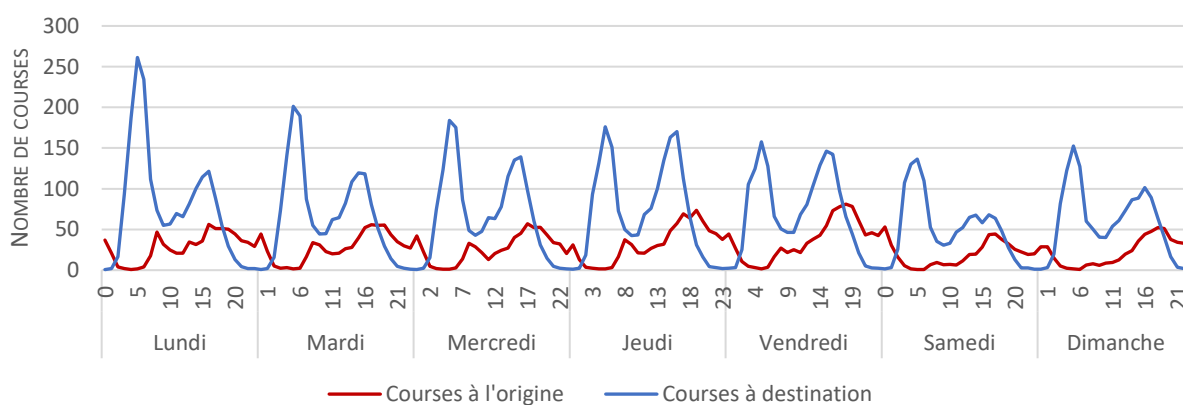


Figure 5.45 : Répartition hebdomadaire moyenne des courses à l'origine et des courses à destination de l'aéroport

La répartition des courses à destination de l'aéroport présente deux pics distinctifs sur l'ensemble des jours. Le premier pic a lieu très tôt en matinée entre 4 h et 7 h avec l'heure maximale de la semaine entre 5 h et 6 h du matin le lundi (261 courses). Le second pic, moins important, a lieu en milieu d'après-midi entre 14 h et 17 h. Le jeudi, ce second pic est presque aussi élevé que le pic matinal. À l'inverse, le pic d'après-midi du samedi est moins proéminent que ceux des autres journées. Les courses à l'origine (4570 pour une semaine moyenne) étant moins importantes que celles à destination de l'aéroport (11 000 pour une semaine moyenne), les particularités temporelles

de cette demande sont plus difficilement observables sur la Figure 5.45. Pour mieux observer les variations de la demande à l'origine de l'aéroport, celle-ci est illustrée à la Figure 5.46 et comparée à l'offre de véhicules disponibles au poste d'attente de la zone restreinte de l'aéroport. Le ratio de courses par véhicule-heure disponible est aussi affiché.

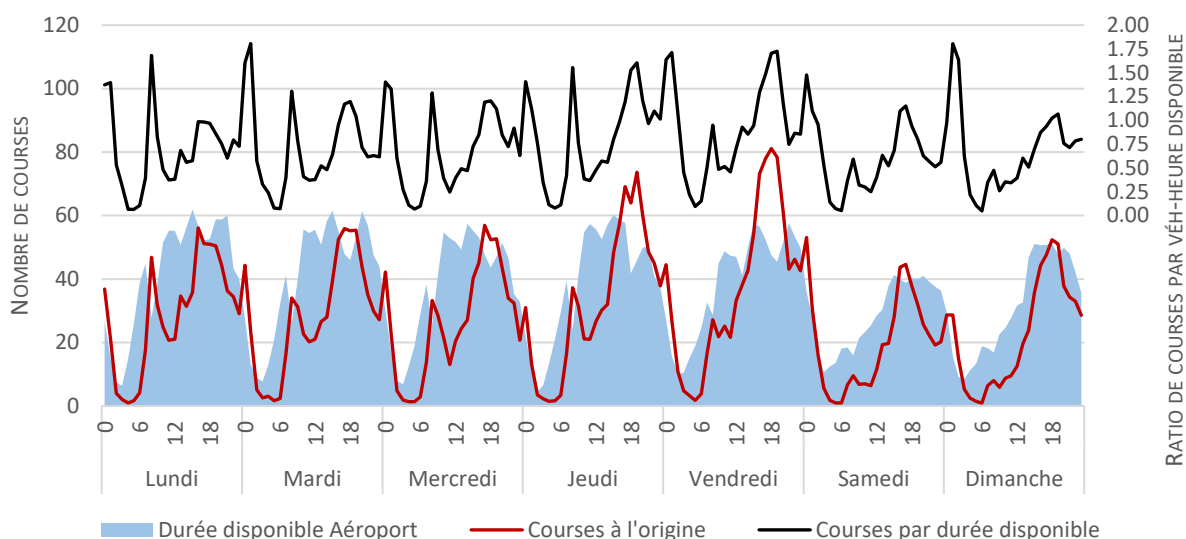


Figure 5.46 : Répartition hebdomadaire moyenne des courses à l'origine de l'aéroport et de l'offre de véhicules-heures disponibles

Les courses à l'origine de l'aéroport dépendent de l'arrivée des avions. Ce profil de demande présente un pic principal qui atteint son maximum le vendredi entre 17 h et 20 h (79 courses/h). La demande de nuit tombe à plat puisqu'aucun avion n'est supposé atterrir durant la nuit. Lorsque la courbe du ratio de courses par véhicule-heure disponible augmente, ceci signifie que le nombre de courses qui débutent à l'aéroport est plus important que la durée disponible. Une estimation plus précise serait d'observer le taux d'arrivée des véhicules au poste d'attente et de le comparer au nombre de courses y débutant. Au niveau de l'offre, pour une semaine moyenne, 7830 heures en service sont mesurées à l'Aéroport. De ce nombre, 6200 (79 %) sont des heures disponibles pour prendre des clients. Ainsi, sur l'ensemble de la semaine, le nombre de courses par heure de service est de 0,59, ce qui est 25 % inférieur à la moyenne sur l'ensemble de l'Île (0,79). Du point de vue du taxi (et donc du chauffeur), en divisant la somme des heures de service (6200) par le nombre de courses à l'origine (4670), ceci donne un nombre moyen de 1,33 heure (80 minutes) d'attente pour obtenir une course.

Un autre indicateur particulièrement intéressant à mesurer est la proportion des courses se destinant à l'aéroport effectuées par des taxis possédant des permis d'aéroport. En effet, le fonctionnement du système actuel autorise seulement 310 taxis réguliers à prendre des clients sur le territoire de l'Aéroport. Par conséquent, un taxi régulier qui dépose un client à l'aéroport n'aura pas le choix de revenir à vide. Si le taxi est de l'agglomération A-12, celui-ci peut aller se positionner aux postes d'attente des hôtels à proximité ou de la gare de train. S'il s'agit d'un taxi des agglomérations A-11 et A-05, celui-ci se voit donc contraint de retourner à vide vers sa zone.

La question inverse se pose aussi, est-ce qu'un taxi possédant un permis d'aéroport retournera vers l'aéroport à vide dans l'objectif de se remettre rapidement en file pour obtenir une course payante ou celui-ci attendra-t-il en ville en espérant trouver un client à ramener à l'aéroport ? Dans le cas du centre-ville par exemple, cette possibilité est uniquement disponible aux permis A-11 munis d'un permis d'aéroport. Un permis A-12 ou A-05 n'aura pas d'autres options que de retourner vers l'aéroport. De plus, les intermédiaires en service ne priorisent pas les véhicules munis d'un permis d'aéroport lorsqu'ils reçoivent une requête téléphonique pour une course à destination de l'aéroport. La course est normalement envoyée au premier taxi en attente dans le secteur où se trouve la demande. De favoriser les permis d'aéroport pour les courses à destination de l'aéroport serait injuste pour les taxis réguliers sans permis d'aéroport qui peuvent aussi bénéficier d'une course payante à destination de l'aéroport. La situation serait différente pour un intermédiaire en service où les chauffeurs ne sont pas des travailleurs autonomes, mais plutôt des employés salariés.

Sans regarder en détail le comportement des permis d'aéroport observés dans les données, il est toutefois possible de calculer la proportion des courses à destination de l'aéroport effectuée par des véhicules munis de permis d'aéroport. Sur l'ensemble de l'année 2016, seulement 3,7 % des courses à destination de l'Aéroport sont effectuées par des véhicules munis de permis d'aéroport. Inversement, 6,4 % des courses à l'origine de l'Aéroport sont effectuées par des véhicules qui ne sont pas munis de permis d'aéroport. Ce deuxième cas est d'ailleurs une situation illégale. Ces courses sont-elles fausses et dues à des erreurs de manipulation du dispositif à bord ? Ces courses sont-elles réelles et illégales ? Il faudrait de plus amples analyses de ces courses pour pouvoir répondre à ces questions.

En somme, la répartition dans le temps des courses à l'origine et à destination de l'aéroport est directement liée aux départs et aux arrivées des avions. Les données de vols et les données de carte

à puce de l'Autobus 747 pourraient être utilisées afin de compléter une analyse plus en profondeur de la demande de taxi à l'aéroport.

CHAPITRE 6 ANALYSE DE L'UTILISATION DES PERMIS

L'un des objectifs principaux de ce mémoire est de pouvoir mesurer l'utilisation des permis à travers les traces GPS des véhicules. La section 2.1 de la revue de littérature décrit l'historique et les catégories de réglementation du taxi à travers un système de permis. Cette mise en contexte est nécessaire pour comprendre pourquoi la quasi-totalité des grandes villes occidentales utilisent un tel système afin de contrôler l'accès au marché du taxi. L'expert américain en réglementation du taxi, Bruce Schaller, décrit d'ailleurs l'importance pour une ville d'avoir un système de permis qui soit adapté au type de marché du taxi en place sur son territoire. En somme, cette revue de littérature a permis de comprendre que la mesure de l'intensité d'utilisation des permis est très peu étudiée et se révèle pourtant être un indicateur très important dans l'évaluation du nombre de permis nécessaire pour atteindre un équilibre entre l'offre et la demande sur un territoire donné. Le développement d'indicateurs de mesure d'utilisation des permis répond donc à un besoin des autorités responsables d'établir le nombre de permis à rajouter ou retirer du marché. Tel qu'expliqué à la section 3.1.1, au Québec, cette responsabilité incombe à la Commission des transports du Québec. Les traces GPS enregistrées passivement par les dispositifs à bord des véhicules offrent une opportunité unique de suivre dans le temps l'utilisation de chaque permis de propriétaire de taxi. La première étape est donc de quantifier d'utilisation des permis à travers certains indicateurs.

6.1 Quantifier l'utilisation des permis

Une quantification précise et optimale de l'utilisation des permis nécessite des données précises sur l'ensemble des permis à Montréal. Ces données seront disponibles lorsque le développement du registre des taxis sera terminé par le Bureau du Taxi de Montréal et que tous les permis y auront adhéré. Les méthodes d'analyse et les statistiques du présent chapitre, tout comme les indicateurs calculés au chapitre précédent, se basent sur un échantillon des permis dont les données sont fournies par trois intermédiaires en service à Montréal. Les résultats présentés dans les sections suivantes dépendent donc du format des données et de la taille de l'échantillon utilisé.

Il est nécessaire de rappeler certaines particularités et limitations associées au format actuel des données utilisées. D'une part, les tables GPS fournies par les intermédiaires Taxi Diamond, Taxi Hochelaga et Coop de l'Ouest utilisent un identifiant unique de véhicules et non de permis de

propriétaire. La réglementation au Québec oblige toutefois un permis à être associé à un seul véhicule, sauf dans le cas de véhicules électriques. Seul l'intermédiaire Téo Taxi possède une flotte non-négligeable de taxis électriques et ses données ne sont pas utilisées dans le présent mémoire. Ceci permet donc de supposer qu'à travers les données utilisées, un identifiant de véhicule correspond à un permis de propriétaire de taxi. Deux limitations découlent toutefois de la possibilité pour un propriétaire de taxi de changer d'intermédiaire à tout moment durant l'année. La première est liée à l'utilisation d'un identifiant interne de véhicule par chaque intermédiaire. Ainsi, un taxi affilié à Taxi Diamond pourrait changer en cours d'année et rejoindre Taxi Hochelaga qui lui attribuera alors un nouvel identifiant unique dans sa propre base de données. Ce taxi apparaîtra comme deux taxis différents dans les données utilisées. La deuxième limitation est l'impossibilité de suivre sur l'année entière les taxis qui se joignent ou qui quittent en cours d'année l'un des trois intermédiaires étudiés. Ces deux limitations sont contournées en quantifiant l'utilisation de chaque permis de façon relative par l'identification de la période active du permis. Cette période se calcule comme le nombre de jours compris entre le premier et le dernier jour (inclusivement) pour lesquels le véhicule est observé dans les données. Puisque sept jours (7 et 18 juillet; 26 au 29 septembre; 6 novembre) ont été retirés des données, ces jours doivent être soustraits s'ils sont contenus dans la période active. Pour la présente analyse, seuls les 1878 permis réguliers identifiés par la méthode décrite à la section 4.4.1 sont utilisés.

La Figure 6.1 illustre la distribution de ces permis (sans pondération) selon le nombre de jours de la période active en 2016. À noter que le maximum est de $366 - 7 = 359$ jours.

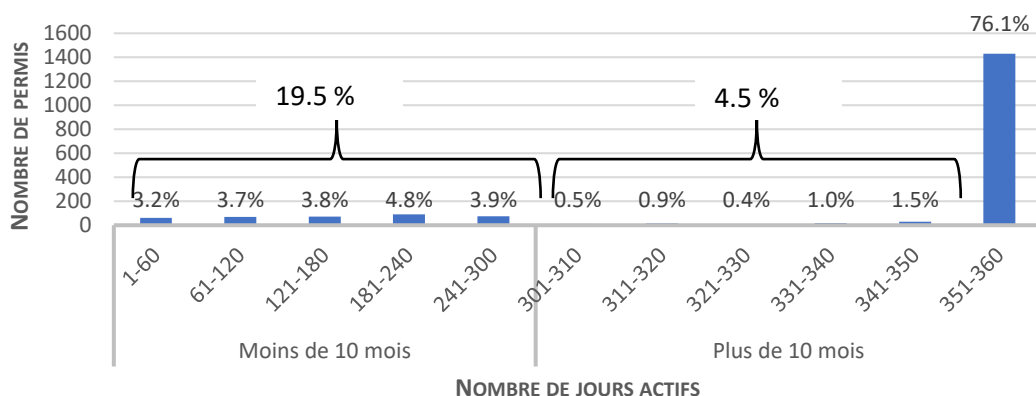


Figure 6.1 : Distribution de la durée (en jours) de la période active de chaque permis pour les 1878 permis réguliers de la base de données en 2016

Plus de 80 % des permis ont une période active supérieure à 10 mois et 76 % ont une période active supérieure à 350 jours.

6.1.1 Méthodes d'estimation de l'utilisation de l'ensemble des permis

La période active permet donc le calcul de l'utilisation d'un permis sous la forme d'un taux d'utilisation en se référant au schéma de définition de l'offre présenté à la Figure 5.3. Ainsi, les heures que passent les véhicules lorsqu'ils sont connectés au système (donc observables dans les données) sont considérées, mêmes celles « hors-service » et « non-disponible », en raison des incertitudes d'utilisation de ces statuts. Il est possible que cette considération crée un biais puisqu'une partie de ces heures est considérée comme du service (transport adapté, retour vers sa zone, etc.) alors qu'une autre partie (utilisation personnelle du véhicule) ne l'est pas, mais cela reste toutefois une bonne façon d'estimer le taux d'utilisation des permis. Pour un maximum de précision, il est préférable de calculer ce taux en heures plutôt qu'en jours. La formule suivante est donc utilisée :

$$\text{taux d'utilisation d'un permis} = \frac{\text{NB d'heures en service}}{\text{NB de jours actifs} * 24h/j}$$

Une fois ce taux calculé pour l'ensemble des permis, le taux moyen, l'écart-type et la distribution des permis observés peuvent être calculés et analysés. Il convient toutefois de déterminer si l'ensemble des 1878 permis doivent être utilisés. C'est-à-dire qu'un permis dont la période active est par exemple de 30 jours aura le même poids dans la distribution et dans le calcul du taux moyen qu'un permis présent toute l'année. Ceci revient à estimer le comportement sur l'année entière de ce permis à partir de 30 jours d'activité, ce qui n'est pas nécessairement souhaitable, car peu représentatif. Où fixer la limite alors ? En utilisant la séparation de la Figure 6.1, la stratégie est de valider à l'aide d'un test statistique si la distribution du taux d'utilisation des permis dont la période active est inférieure à 10 mois est similaire à celle de l'échantillon de référence, à savoir les permis dont la période d'activité est supérieure à 10 mois. Le test utilisé pour valider si les deux distributions sont statistiquement similaires (hypothèse H_0) est le test d'adéquation du χ^2 (KHI-2).

Le test permet de vérifier si l'écart (χ^2) entre les deux distributions est suffisant pour pouvoir rejeter l'hypothèse H_0 avec un taux de confiance satisfaisant. L'écart, ou statistique du test, se calcule selon l'équation suivante :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{O_i^2}{E_i} - N$$

Où N est le nombre d'observations, n le nombre de catégories, O les valeurs observées et E les valeurs de référence. Dans le cas présent, les valeurs de référence sont les valeurs de la distribution des permis observés 10 mois ou plus par année.

Si $X^2 < \chi_d^2$ pour un niveau de confiance donné, où χ_d^2 suit la loi du khi-2 à d degrés de liberté, alors l'hypothèse nulle ne peut pas être rejetée et les deux distributions sont similaires. Le nombre de degrés de liberté se calcule comme $d = n - 1 - p$ où n est le nombre de catégories de la distribution (telles qu'il y a au minimum 5 observations par catégorie) et p , le paramètre de la distribution. Dans le cas d'une distribution empirique comme c'est le cas ici, $p = 0$.

Tableau 6.1: Permis selon le taux d'utilisation, période active ≤ 10 mois VS période active > 10 mois et calcul de la statistique du test du KHI2

% D'UTILISATION DU PERMIS	NB DE PERMIS < 10 MOIS (O)	NB DE PERMIS > 10 MOIS (E)	NB DE PERMIS > 10 MOIS (E) - RAMENÉ SUR 366	$\frac{O_i^2}{E_i}$
0-15%	17	12	2.90	99.5
15-20%	18	13	3.15	103.0
20-25%	16	33	7.99	32.0
25-30%	24	72	17.43	33.0
30-35%	31	118	28.56	33.6
35-40%	45	203	49.14	41.2
40-45%	56	248	60.03	52.2
45-50%	61	252	61.00	61.0
50-55%	42	194	46.96	37.6
55-60%	20	151	36.55	10.9
60-65%	8	97	23.48	2.7
65-70%	13	62	15.01	11.3
70-75%	7	38	9.20	5.3
75-95%	8	19	4.60	13.9
TOTAL	366	1512	366	537.4

Dans le cas présent, $d = 14 - 1 - 0 = 13$ et $\chi_{13}^2 = 29,82$ pour un seuil de risque (c'est-à-dire la probabilité de se tromper en rejetant H_0) de 0,005. Ainsi,

$$\chi^2 = 537,4 - 366 = 171,38 \gg \chi_{13}^2 = 29,82$$

Il peut donc être conclu avec une certitude supérieure à 99,5 % que les deux distributions ne sont pas similaires. La Figure 6.2 permet d'observer graphiquement ces différences.

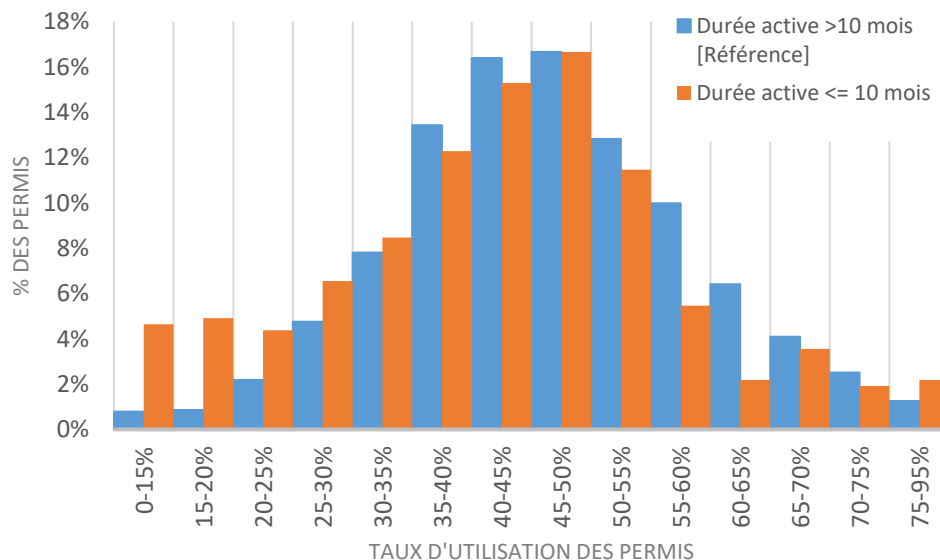


Figure 6.2 : Distributions des permis selon le taux d'utilisation
– Durée active > 10 mois VS durée active ≤ 10 mois

Il est donc choisi de ne pas utiliser les permis dont la période active est inférieure à 10 mois puisque leur distribution du taux d'utilisation est statistiquement différente des permis dont la période active est supérieure à 10 mois.

Le test du Khi-2 permet aussi de valider que la distribution du taux d'utilisation de ces 1512 permis, dont la durée active est supérieure à 300 jours, suit une loi normale puisque qu'on ne peut pas rejeter H_0 :

$$\chi^2 = 1527,8 - 1512 = 15,8 < \chi_{11}^2 \text{ à } 0.05 = 19,68$$

La distribution des 1512 permis et la distribution d'une loi normale centrée à 46,6% et d'un écart-type de 12,6% sont présentées à la Figure 6.3.

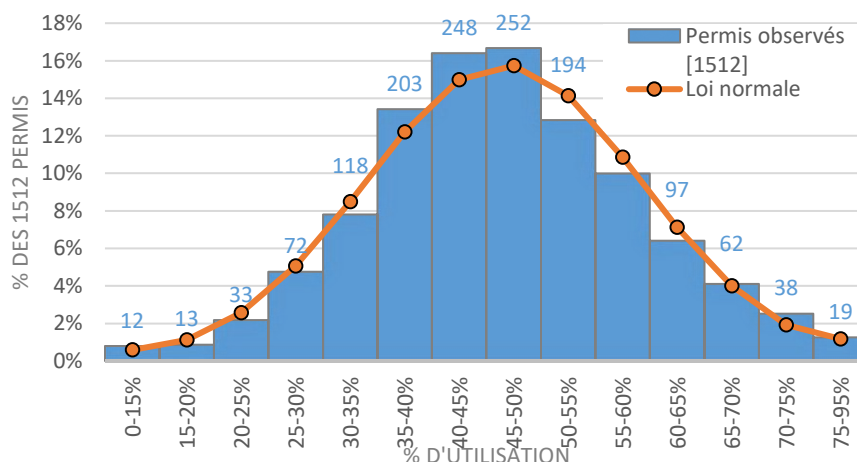


Figure 6.3 : Distribution des 1512 permis réguliers selon le taux utilisation et Loi normale
 $N(46.6;0.016)$

Par ailleurs, puisque la distribution s'apparente à une loi normale, celle-ci est symétrique. C'est-à-dire que, par exemple, un petit nombre de taxis très peu actifs ne tire pas la moyenne vers le bas. Le coefficient d'asymétrie est d'ailleurs très faible et égal à 0.055, ce qui indique une légère tendance vers la droite de la distribution sans toutefois pouvoir conclure à une asymétrie puisqu'un coefficient d'asymétrie compris entre -0,5 et 0,5 est considéré comme approximativement symétrique. Le fait que le taux d'utilisation des permis suive une distribution normale signifie que les permis offrant très peu de services durant l'année sont compensés par les permis ayant un haut taux d'utilisation, assurant ainsi un équilibre.

Tel que mentionné précédemment, puisque les statistiques sont calculées sur un échantillon et non sur l'ensemble des permis, certaines règles élémentaires de la statistique doivent être utilisées. Tout d'abord, pour le calcul de la moyenne d'utilisation des permis, un intervalle de confiance est calculé. Dans le cas présent, puisque l'écart-type de l'utilisation des permis n'est pas connu, c'est l'écart-type de l'échantillon qui est utilisé, ce qui signifie que la distribution de la moyenne centrée réduite suit une loi de Student à n degrés de liberté où n est la taille de l'échantillon. De plus, puisque la taille de l'échantillon complet et la taille des échantillons par agglomération sont importantes par rapport à la taille de la population ($1512/4421 = 34 \% > 5 \%$), un facteur de correction est appliqué à l'intervalle de confiance afin de le réduire. Ce facteur de correction est plus important lorsque la taille totale de la population est petite comme dans le cas de l'estimation des moyennes pour les agglomérations A-05 et A-12. Finalement, les proportions estimées, par

exemple la proportion de permis conduits par un chauffeur, utilisent aussi des intervalles de confiance corrigés. Puisque la proportion d'un échantillon suit approximativement une loi normale (si cette proportion n'est pas trop près de 0 ou de 1), alors l'intervalle de confiance est construit à l'aide d'une loi normale centrée réduite.

La taille importante de l'échantillon (1512) permet d'estimer que le taux moyen d'utilisation des 4421 permis réguliers de Montréal (Mai 2016) est de $46,6 \% \pm 0,7\%$ avec une confiance de 99%. Appliqué à une période active du 1^{er} janvier au 31 décembre (365 jours ou 8760 heures), cela signifie qu'un permis de taxi à Montréal a une durée moyenne d'utilisation annuelle entre 4007 et 4153 heures. Si ce permis est utilisé tous les jours, il est alors en service en moyenne $11,2 \pm 0,2$ heures par jour.

Tableau 6.2 : Utilisation moyenne de l'ensemble des 4421 permis réguliers de l'île de Montréal

ÉCHELLE TEMPORELLE	MOYENNE ET IC CORRIGÉ À 99%	ÉCART-TYPE
Taux d'utilisation	$46,6 \pm 0,7 \%$	12,6 %
Annuelle	4080 ± 73 heures	1100 heures
Hebdomadaire	$78,2 \pm 1,4$ heures	21,1 heures
Journalière	$11,2 \pm 0,2$ heures	3,0 heures

Ces statistiques d'utilisation s'appliquent à l'ensemble des permis réguliers du territoire indépendamment de leur agglomération et du nombre de chauffeurs qui les conduisent. La section suivante segmente les permis selon leur agglomération afin de valider si l'utilisation des permis est similaire. La section d'après (6.1.3) s'intéresse à l'utilisation des permis en fonction du nombre de chauffeurs qui les conduisent.

6.1.2 Comparaison de l'utilisation des permis selon l'agglomération

Puisque les données utilisées proviennent de trois intermédiaires opérant dans les trois agglomérations de taxi à Montréal, il est possible d'estimer pour chacune la répartition de l'utilisation des permis. Le Tableau 6.3 présente le nombre de permis observés, le nombre officiel de permis actifs fourni par le BTM en date du 31 mai 2016 et les statistiques d'utilisation calculées pour les trois agglomérations.

Tableau 6.3 : Statistiques de l'utilisation des permis selon l'agglomération

	A-05 : EST	A-11 : CENTRE	A-12 : OUEST	ÎLE
Permis observés	78	1205	229	1512
Permis BTM	320	3835	266	4421
Taux d'utilisation	42,2 %	47,9 %	40,9 %	46,6 %
± IC à 99%	± 3,0 %	± 0,8 %	± 0,8 %	± 0,7 %
Écart-Type	11,8 %	12,3 %	12,4 %	12,6 %

Le taux moyen d'utilisation des permis de l'agglomération A-11 est donc supérieur à ceux des agglomérations A-05 et A-12, lesquels sont similaires. Les trois distributions peuvent être observées à la Figure 6.4. La forme de la distribution pour A-11, qui représente 79 % des permis observés, suit, comme pour l'ensemble des permis, une loi normale, ce qui n'est pas le cas pour A-05 et A-12.

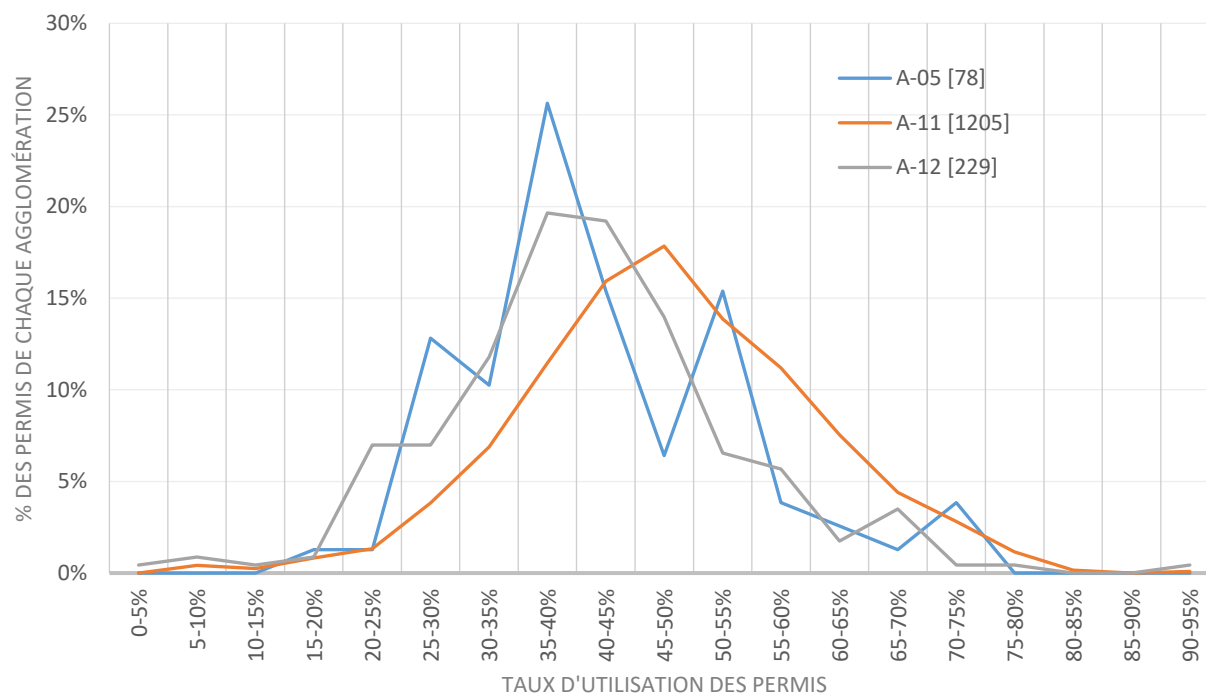


Figure 6.4 : Distribution des permis par agglomération selon le taux d'utilisation

Les statistiques d'utilisation d'un autre type de permis peuvent aussi être analysées, celles des permis d'aéroport. Considérant les frais annuels d'un tel permis (3600 \$), il pourrait être supposé que ces permis ont un taux d'utilisation plus élevé que les autres. Les statistiques démontrent que

ça ne semble pas être le cas. Toutefois, le petit nombre de permis réguliers d'aéroport dans l'échantillon observé (49/310) et l'impossibilité d'établir si cet échantillon représente bien l'ensemble des permis d'aéroport ne permet pas d'estimer avec autant de précision le taux moyen d'utilisation. Ainsi la moyenne d'utilisation des permis d'aéroport à Montréal avec un intervalle de confiance à 95% est de $44,0 \pm 5,2\%$ avec un écart-type de 19,7 %. Les données sont donc plus dispersées que pour l'ensemble des permis. Les distributions des permis avec et sans permis d'aéroport selon leur taux d'utilisation sont présentées à la Figure 6.5. À noter que cette distribution est illustrée par intervalle de 10% pour pallier le manque de données sur les permis d'aéroport.

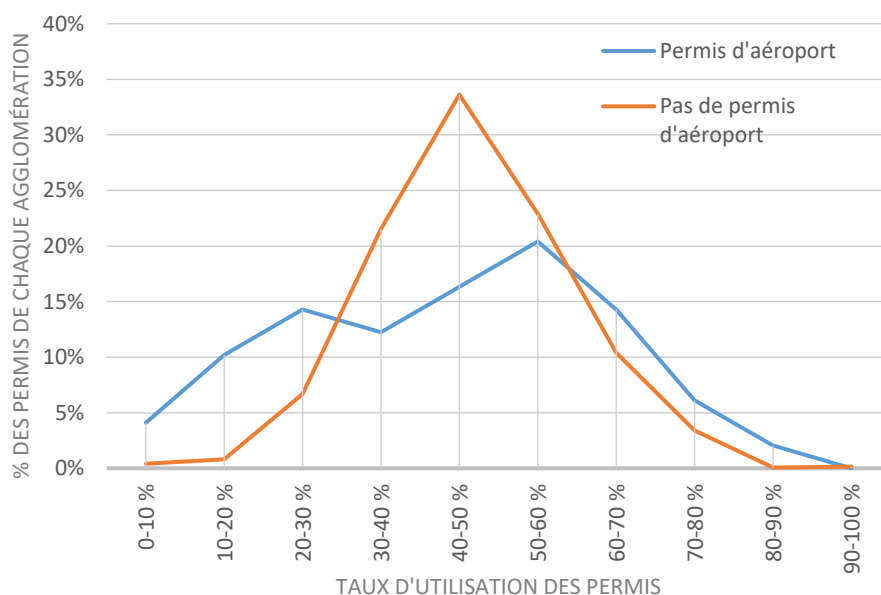


Figure 6.5 : Distribution des taxis, avec et sans permis d'aéroport, selon le taux d'utilisation annuel

6.1.3 L'utilisation selon le nombre de chauffeurs

Les analyses effectuées jusqu'à présent ne tiennent pas compte du nombre de chauffeurs se partageant l'utilisation d'un même permis. Cette prise en considération est essentielle dans l'analyse de l'utilisation des permis. Un propriétaire de permis de taxi choisissant de ne pas louer son véhicule à un autre chauffeur lorsqu'il ne travaille pas tend à réduire le potentiel d'offre de service que représente son permis de taxi.

Le premier calcul à effectuer est d'estimer le nombre de chauffeurs se partageant un même permis. Cette estimation n'est toutefois pas aussi triviale qu'elle n'y paraît puisque ce nombre tend à varier

dans le temps. En effet, un chauffeur peut louer le permis d'un propriétaire pour la première moitié de l'année puis faire affaire avec un autre propriétaire pour la deuxième moitié de l'année. Toujours utilisant le même échantillon de 1512 permis réguliers actifs au moins 300 jours en 2016, la Figure 6.6 présente comment ces permis se répartissent selon le nombre de chauffeurs les ayant utilisés au moins une fois. Quatre identifiants de chauffeurs doivent toutefois être retirés du calcul. Les identifiants -1 pour Taxi Hochelaga et Coop de l'Ouest et l'identifiant 1 pour Taxi Diamond sont ceux utilisés par défaut par le système lorsque le chauffeur ne s'est pas encore connecté au système. Deux autres identifiants de chauffeurs, 1303 et 1304, de Taxi Diamond sont observés respectivement sur 411 et 298 véhicules différents en 2016 avec une utilisation moyenne de moins d'une heure sur chaque véhicule. Ces identifiants de chauffeurs servent probablement à faire des tests sur leur système et ne sont donc pas de véritables chauffeurs de taxi.

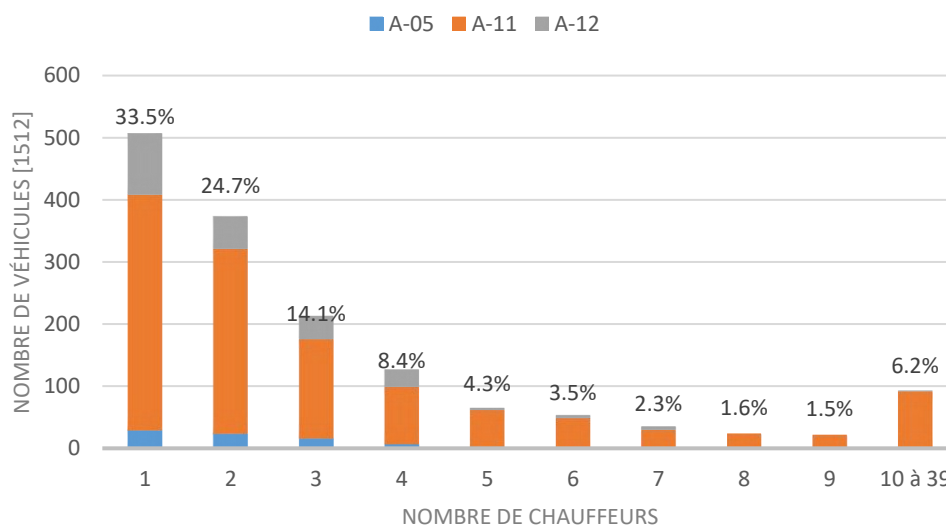


Figure 6.6 : Distribution des 1512 permis de l'échantillon selon le nombre de chauffeurs

Selon ce calcul, le nombre moyen de chauffeurs par permis est de 3,44 avec un écart-type de 4,10 chauffeurs par permis. Ces statistiques sont toutefois déformées par les 93 permis partagés par 10 ou plus chauffeurs et plus généralement par des chauffeurs qui peuvent utiliser un véhicule que quelques heures sur l'année complète. Le cas le plus extrême est un permis partagé par 39 chauffeurs. De ces 39, 20 chauffeurs effectuent moins de 40 heures de service en 2016 avec ce permis. La majorité des employés de ce véhicule ne sont donc pas significatifs dans le contexte de l'analyse de l'utilisation des permis. Un seuil d'utilisation minimum d'un permis est établi arbitrairement à 5 % de la durée totale en service. Pour un permis d'une durée moyenne

d'utilisation de 4080 heures, ceci signifie qu'un chauffeur doit avoir conduit ce véhicule au moins 204 heures durant l'année pour être considéré un chauffeur significatif sur ce permis. Tous les chauffeurs qui n'atteignent pas ce seuil ne sont pas comptés dans les chauffeurs utilisant un permis. La distribution de la Figure 6.6 permet tout de même d'établir que sur l'ensemble des 4421 permis réguliers de taxi à Montréal, $33,5\% \pm 1,9\%$ (intervalle de confiance à 95%) sont opérés uniquement par leur propriétaire. La Figure 6.7 illustre la distribution du nombre de véhicules selon le nombre de chauffeurs, mais cette fois en ne considérant que les chauffeurs significatifs de chaque permis.

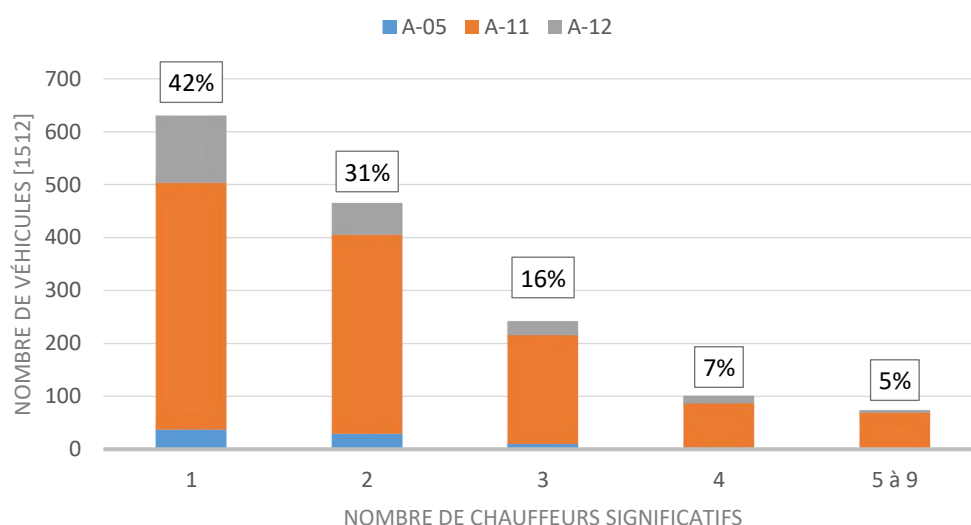


Figure 6.7 : Distribution des 1512 permis selon le nombre de chauffeurs significatifs ($\geq 5\%$ de l'utilisation du permis)

Le pourcentage au-dessus de chaque colonne est calculé sur l'ensemble des 1512 permis. Toujours en utilisant le seuil minimal de 5% par chauffeur, le Tableau 6.4 révèle les statistiques sur le nombre de chauffeurs significatifs par permis selon l'agglomération.

Tableau 6.4 : Statistiques du nombre de chauffeurs par permis (seuil de minimal de 5% d'utilisation par chauffeur)

	A-05 : EST	A-11 : CENTRE	A-12 : OUEST	ÎLE
Permis observés	78	1205	229	1512
Permis BTM	320	3835	266	4421
Taux moyen d'utilisation	42,2 %	47,9 %	40,9 %	46,6 %
des permis \pm IC 95 %	$\pm 2,3$ %	$\pm 0,6$ %	$\pm 0,6$ %	$\pm 0,5$ %
Moyenne de chauffeurs	1,71	2,12	1,74	2,04
par permis \pm IC 95 %	$\pm 0,21$	$\pm 0,21$	$\pm 0,07$	$\pm 0,17$
Écart-Type	1.08	4.48	1.53	4.10
Proportion de chauffeur	47%	39%	55%	42%
unique \pm IC 95 %	$\pm 9,7$ %	$\pm 2,3$ %	$\pm 2,4$ %	$\pm 2,0$ %

Les permis de l'agglomération A-11 sont donc plus partagés que les permis des deux autres agglomérations, ce qui peut expliquer le taux d'utilisation moyen plus élevé des permis de cette zone. De plus, bien que le nombre moyen de chauffeurs par permis soit plus faible dans l'agglomération de l'Est, c'est dans l'agglomération de l'Ouest que l'on retrouve la plus grande proportion de permis conduits par un seul chauffeur significatif.

Le taux moyen d'utilisation des permis peut donc être segmenté selon le nombre de chauffeurs par permis.

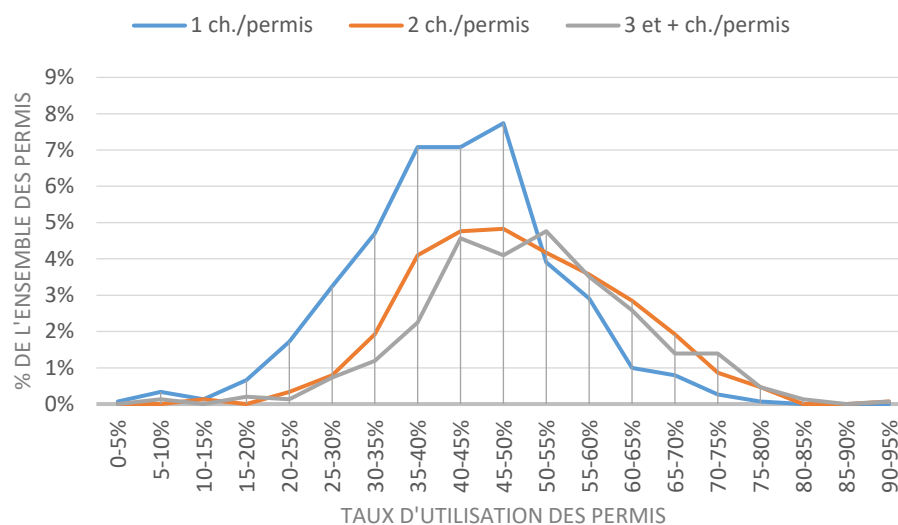


Figure 6.8 : Distribution des permis selon le taux d'utilisation, segmenté selon le nombre de chauffeurs significatifs par permis

Le Tableau 6.5 exprime les statistiques d'utilisation des permis de ces trois groupes.

Tableau 6.5 : Statistiques d'utilisation des permis, segmentés selon le nombre de chauffeurs significatifs

NB DE CHAUFFEURS :	1	2	3+	[1-9]
Permis observés	630	465	417	1512
% de tous les permis	41,7 ± 2 %	30,8 ± 1,9 %	27,6 ± 1,8 %	4421
Taux moyen d'utilisation des permis ± IC 95 %	41,7 ± 0,9 %	49,3 ± 1,1 %	50,9 ± 1,2 %	46,6 ± 0,5 %
Écart-Type Utilisation	11,5 %	12,1 %	12,2 %	4,1 %
Coefficient de Variation	27,5 %	24,5 %	24,0 %	27,0 %
Heures hebdomadaires ± IC 95 %	70,1 ± 1,5 h	82,8 ± 1,8 h	85,4 ± 2 h	78,2 ± 0,9 h

Ces indicateurs démontrent que le taux d'utilisation moyen d'un permis augmente de 18 % lorsque qu'un second chauffeur le conduit. Cette conclusion était attendue, mais l'augmentation de l'utilisation générée par le second chauffeur n'est pas aussi importante que ce à quoi on pourrait s'attendre. D'une part, les taxis conduits par un seul chauffeur, probablement le propriétaire du permis, ont une moyenne d'utilisation de près de 70 heures par semaine. D'un point de vue d'un

travailleur, c'est bien supérieur à la semaine moyenne de 40 heures de travail. Il importe de nuancer cette valeur en rappelant que ce groupe de permis comprend un 20 % de permis qui sont en réalité partagés avec un ou des chauffeurs ayant chacun conduit le taxi moins de 5% de sa durée en service annuelle. Toutefois, même en ne considérant que les permis réellement conduits par un seul chauffeur, la moyenne d'heures par semaine s'élève à 68,9. De plus, le partage d'un taxi avec un troisième ou un quatrième chauffeur entraîne une augmentation notable de l'utilisation des permis, mais cette augmentation n'est pas aussi importante que pour le passage d'un à deux chauffeurs. Il peut aussi être noté que le calcul du coefficient de variation (écart-type divisé par la moyenne) démontre que l'étendue de la distribution d'utilisation des permis tend à diminuer avec le nombre de chauffeurs. En s'intéressant aux 20% des permis les plus actifs, ceux dont le taux d'utilisation se situe entre 57 % et 94% (entre 96 heures à 158 heures par semaine), 18,5% sont conduits par un chauffeur, 41,7% par deux chauffeurs, 24,5 % par trois chauffeurs et 15,2% par quatre chauffeurs ou plus. La Figure 6.9 exprime ces statistiques par groupe de 20 % des permis classés selon le taux d'utilisation. Le premier groupe contient les plus actifs et le dernier les moins actifs.

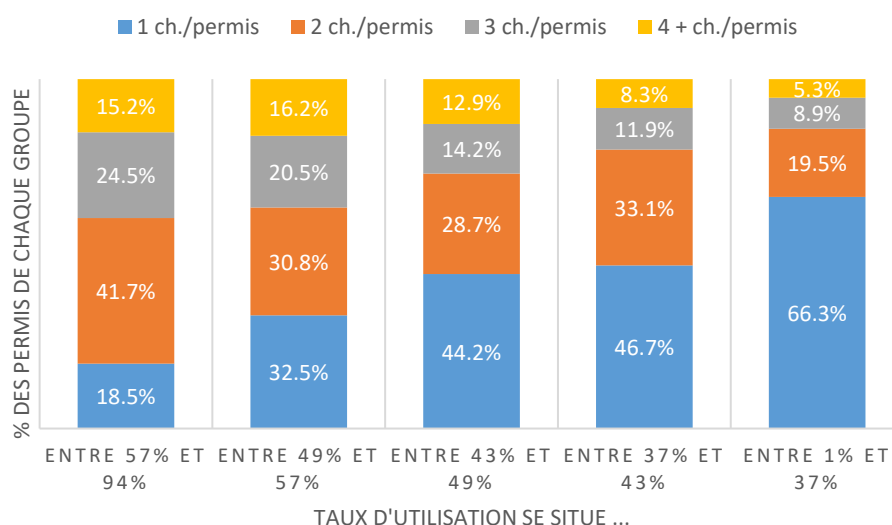


Figure 6.9 : Répartition des permis dans chaque groupe de 20 % des permis selon le nombre de chauffeurs

Puisque l'ajout d'un 2^e, 3^e ou 4^e chauffeur sur un permis ne semble pas augmenter considérablement l'utilisation de ce permis, il peut être intéressant de voir comment se répartissent les heures moyennes d'utilisation entre les différents chauffeurs d'un permis. La Figure 6.10

illustre la répartition moyenne des heures pour chaque chauffeur selon le nombre de chauffeurs se partageant un taxi.

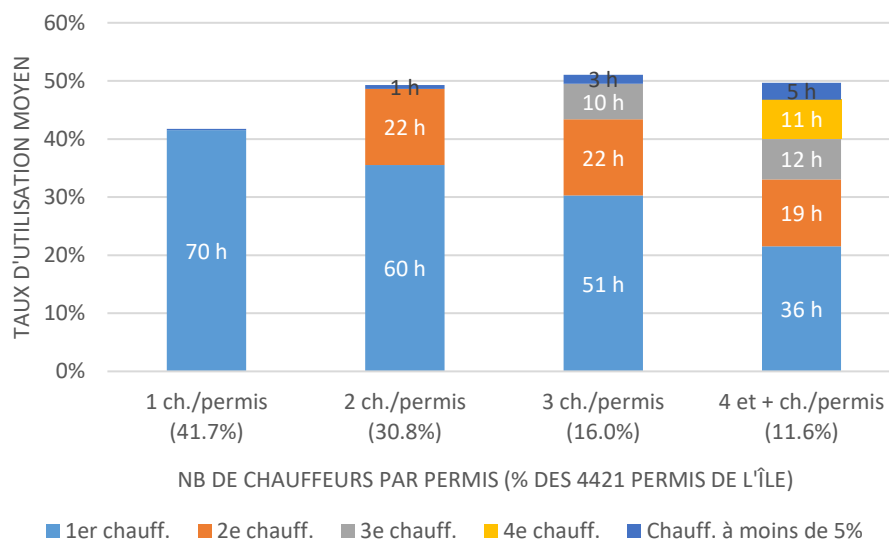


Figure 6.10 : Répartition de l'utilisation des taxis par chauffeur – les nombres d'heures des étiquettes de données sont la correspondance pour une semaine moyenne

Il est donc intéressant de constater que le partage du permis n'est pas du tout équitable entre les chauffeurs. Dans le cas d'un permis à deux chauffeurs par exemple, le 1^{er} chauffeur accapare 72 % du temps d'utilisation du véhicule ce qui équivaut environ à 60 heures en moyenne par semaine contre 22 heures pour le second. La distribution des heures du second chauffeur est toutefois beaucoup plus dispersée avec un coefficient de variation de 69 % contre 26 % pour le premier. Plus précisément, seulement 27 % des permis conduits par deux chauffeurs sont partagés de façon équitable (60 %/40 % au maximum). Même lorsque le permis est partagé entre trois chauffeurs, le premier chauffeur utilise le permis plus de la majorité du temps (59 % du temps du permis) alors que les deux autres se partagent le 40 % restant. Ces statistiques ne permettent toutefois pas de conclure que les chauffeurs non-proprétaires effectuent moins d'heures que les propriétaires de taxis. En effet, la réglementation actuelle au Québec permet à un chauffeur de louer plusieurs taxis à plusieurs propriétaires différents. Un chauffeur non-proprétaire peut, par exemple, effectuer 60 heures de travail par semaine en louant trois taxis différents à trois propriétaires différents pour 20 heures par semaine chacun.

En analysant l'utilisation des taxis du point de vue des chauffeurs, il est d'ailleurs possible d'extraire quelques statistiques intéressantes. Les 1512 véhicules de l'échantillon sont conduits par 2658 chauffeurs uniques. À titre indicatif, le bureau du Taxi de Montréal comptait 10 180 chauffeurs au 31 décembre 2015 (Bureau du Taxi de Montréal, 2016). En considérant uniquement les chauffeurs ayant conduit l'un des 1512 véhicules au moins 5 % de sa durée annuelle, 2392 chauffeurs peuvent être dénombrés. S'il y a 1512 véhicules, il y a donc 1512 premiers chauffeurs, sauf qu'en réalité 1450 chauffeurs sont premiers chauffeurs sur un seul permis et 31 chauffeurs sont premiers chauffeurs sur deux véhicules différents. Alors que la Figure 6.10 semble indiquer que les deuxièmes chauffeurs d'un permis effectuent peu d'heures, c'est effectivement parce qu'ils conduisent plus d'un permis. Ainsi, la moyenne de véhicules utilisés par tous les chauffeurs qui sont deuxième chauffeur sur au moins un véhicule est de 1,61. Cette valeur est de 1,9 lorsque qu'un chauffeur est 3^e chauffeur sur au moins un véhicule et 1,99 lorsqu'un chauffeur est 4^e chauffeur sur au moins un véhicule. À noter que ces valeurs sont conservatrices puisqu'un chauffeur identifié dans les données peut louer un véhicule d'un propriétaire associé à un autre intermédiaire en service que Taxi Diamond, Taxi Hochelaga et Coop de l'Ouest et qu'il n'est par conséquent pas observé dans les bases de données disponibles.

6.1.4 Les propriétaires de permis à Montréal respectent-ils la réglementation new-yorkaise ?

À New York, les propriétaires de taxis jaunes (les taxis opérant sous un système de « medallion ») sont tenus de conduire leur taxi eux-mêmes un minimum de 180 quarts de travail de 9 heures par année. Ce critère s'applique au propriétaire du permis et devient donc un seuil d'opération minimal d'un permis. Ce minimum correspond à 1620 heures de service annuel, soit un taux d'utilisation 18,5 %. Une telle obligation pour les chauffeurs montréalais n'existe pas, mais il est toutefois intéressant de vérifier pour quelle proportion des taxis et des propriétaires ce critère est respecté. Appliqué uniquement aux permis, ce critère semble aisément respecté à Montréal alors que seulement $1,3\% \pm 0,5\%$ (IC 95%) des 4421 permis font moins de 1620 heures annuellement. Ce critère est toutefois estimé uniquement à partir du taux d'utilisation et non par la validation que les permis effectuent bel et bien 180 fois des quarts de travail de 9 heures. Pour effectuer le même exercice pour les propriétaires de taxi, il faut toutefois poser l'hypothèse que le premier chauffeur de chaque permis (celui utilisant le plus le permis) en est le propriétaire. Suivant cette hypothèse,

7,7 % \pm 1,1% des propriétaires de taxi à Montréal ne seraient pas conformes aux règlements new-yorkais.

6.1.5 Une estimation erronée

La section 0 de la revue de littérature décrit la situation au Québec de l'entreprise de *ridesourcing* Uber. Dans son projet pilote avec cette entreprise, le gouvernement du Québec fixe un premier plafond de connexion à l'application : « Le MTMDET autorise le titulaire à rendre disponible son application mobile à ses partenaires-chauffeurs 50 000 heures par semaine, ce qui correspond au nombre maximal d'heures de 300 permis de propriétaire de taxi » (Gazette Officielle du Québec, 2016). Bien qu'elle soit exacte, cette affirmation peut être trompeuse puisque la statistique estimée ci-dessus démontre qu'aucun véhicule de taxi régulier n'atteint le maximum d'heures théoriquement autorisé par son permis. En posant l'hypothèse qu'un véhicule Uber a le même comportement qu'un taxi régulier utilisé en moyenne $78,3 \pm 1,4$ heures par semaine, cela signifie qu'un plafond de 50 000 heures par semaine correspond en réalité à l'ajout de 639 ± 12 permis sur les routes du Québec. Cette hypothèse est toutefois très conservatrice. En effet, le modèle d'affaire d'Uber étant plutôt basé sur l'utilisation du véhicule personnel du chauffeur, il est fort probable que le taux moyen de connexion à l'application mobile se rapproche davantage du taux d'utilisation des permis de taxis utilisés par un seul chauffeur. En prenant plutôt comme comparatif ces permis (moyenne d'utilisation de $41,7\% \pm 0,9\%$ ou $70,1 \pm 1,5$ h par semaine) alors 50 000 heures correspondent à 713 ± 15 véhicules.

CHAPITRE 7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce dernier chapitre conclut ce projet de recherche qui avait pour objectif de développer des outils méthodologiques de planification d'un système de transport par taxi. Les recherches se sont donc concentrées sur deux problématiques liées à ce mode de transport : la sous-utilisation des données GPS pour moderniser et préserver l'importance du taxi dans l'offre de mobilité urbaine et les limitations associées à la forme actuelle de la réglementation du taxi par un système de permis. Cette synthèse se décline en quatre sections. La première résume les faits saillants et les principaux résultats de ce mémoire. La deuxième section rappelle les limitations des analyses effectuées dans le cadre de cette recherche. La troisième présente les contributions apportées au sujet et la dernière section indique les principales avenues à emprunter pour poursuivre la recherche sur les enjeux les plus critiques associés à ce mode de transport.

7.1 Synthèse de la recherche

Ce mémoire a débuté par une revue de la littérature axée sur trois enjeux actuels de l'industrie du taxi. La première section s'est intéressée aux trois axes de régulation du transport par taxi: le contrôle de la qualité, le contrôle des tarifs et le contrôle de la quantité (ou des entrées). Un intérêt particulier a été porté aux formes que prend la régulation de la quantité qui passe très souvent par un système de permis ou licences. La deuxième section a discuté des enjeux réglementaires et des impacts soulevés par l'arrivée récente d'un mode de transport alternatif qui a bouleversé l'industrie du taxi traditionnel : le *ridesourcing*. Ce terme décrit un service de transport sur demande offert par des entreprises de transport technologiques (« Transportation Network Companies » ou « TNCs »), dont la plus connue est Uber. Cette section résume aussi la saga de l'implantation d'Uber au Québec. La dernière section de la revue de littérature a décrit les principaux axes de recherche basés sur l'utilisation des données GPS, soit la typologie et la modélisation de la demande, l'optimisation de l'offre, l'identification des données erronées et l'identification des indicateurs de suivi et d'analyse de l'offre de service et de la demande de déplacements par taxi.

Le troisième chapitre a proposé une mise en contexte de l'industrie du taxi au Québec et à Montréal. Celle-ci décrit les principaux acteurs de l'industrie et le fonctionnement de la réglementation en place au Québec, incluant les particularités associées à la desserte par taxi de l'Aéroport de Montréal. Tout comme dans la revue de littérature, un intérêt particulier est accordé au contrôle

des entrées par un système d'agglomération de taxis et de permis de propriétaire de taxi. La deuxième section de ce chapitre présente une mise en contexte géographique et démographique de Montréal et décrit les faits saillants de la mobilité des Montréalais segmentés selon les trois agglomérations de taxi de l'île de Montréal.

Le quatrième chapitre décrit d'abord les données de taxi utilisées dans le cadre de cette recherche et la méthodologie de construction d'une base de données destinée au calcul d'indicateurs de suivi de l'offre et de la demande de taxi. Les traces GPS collectées par les dispositifs à bord des véhicules et les données de répartition de courses, sont de taille considérable et sont fournies par trois intermédiaires en service de la région de Montréal qui représentent collectivement 37% des 4425 permis réguliers de propriétaires de taxi autorisés à desservir l'île de Montréal. L'échantillon de permis observé couvre les trois agglomérations de taxi de l'île : A-12 (ouest), A-11 (centre) et A-05 (est). Afin de pouvoir estimer les indicateurs pour l'ensemble du territoire, une méthode de pondération des permis observés en fonction de leur agglomération et de la possession ou non d'un permis d'aéroport a été développée.

Le cinquième chapitre est celui des indicateurs. La première étape a été d'identifier à partir de la littérature et du travail de Lacombe (2016) les indicateurs pertinents de l'offre, de la demande, de la comparaison entre les deux et des objets du système que sont le véhicule, le chauffeur et le poste d'attente. La deuxième étape a permis d'établir la méthodologie de calcul de ces indicateurs à partir de données provenant de trois intermédiaires dont les formats diffèrent. Par la suite, les échelles temporelles et spatiales ont été identifiées pour la visualisation de ces indicateurs dans un tableau de bord interactif. Une fois l'architecture du tableau présentée, les principaux indicateurs que ce dernier contient ont été calculés, analysés et comparés pour les trois agglomérations de taxi de l'île de Montréal. Ainsi, il a été possible d'établir que les 4425 permis réguliers de l'île de Montréal ont effectué 13,4 millions de courses en 2016, ce qui correspond à une moyenne journalière de 36 670 courses. En se basant sur la formule de calcul du prix d'une course en vigueur au Québec, il a été possible d'estimer à l'aide des traces GPS des véhicules que ces courses ont généré des revenus bruts en 2016 totalisant 194 millions de dollars, soit une moyenne de 531 000 \$ par jour. Au cours d'une semaine moyenne, le vendredi est la journée la plus achalandée et les heures de plus forte demande ont lieu durant les nuits du vendredi et du samedi. D'un point de vue saisonnier, la demande hebdomadaire est 10,5 % plus faible durant les mois de juillet et août que sur l'ensemble de l'année. Du point de vue de la course, celle-ci dure en moyenne 12,5 minutes, mesure 5,4 km et

coûte 14,26 \$. Entre les trois agglomérations de taxi, ce sont les courses de la zone A-12 (Ouest) qui sont les plus longues, durent le plus longtemps et génèrent les plus hauts revenus par course. Les déplacements entre les zones ont aussi été analysés permettant de conclure que 15 % des courses effectuées ont une origine et une destination dans des agglomérations différentes. Du point de vue de l'offre, les taxis montréalais ont offert 17 millions d'heures de service dont 71 % étaient disponibles pour prendre des clients, 16,6 % effectuées avec un client à bord, 3,6% en direction du client et 8,6 % étaient non-disponibles ou en course de transport adapté. Par jour, ceci correspond à 46 400 heures de service durant lesquelles 680 900 kilomètres sont parcourus en moyenne, dont 29% de ce kilométrage avec des clients à bord. Tout comme la demande, l'offre est aussi maximale le vendredi, mais ne suit pas l'augmentation importante de la demande durant les nuits de fin de semaine, rendant ces moments plus lucratifs pour les taxis en service. La répartition sur le territoire de la demande et de l'offre n'est pas tout à fait la même notamment au centre-ville où 28 % des courses y débutent alors que 19 % de l'offre de service de l'ensemble du territoire y est offert.

Ces indicateurs d'offre et de demande ont aussi été calculés à l'échelle du véhicule et du chauffeur. Ainsi, un taxi moyen à Montréal effectue 10,5 courses par jour en service, il parcourt en moyenne 178 km et est actif environ 11,4 heures. Il effectue donc en moyenne 0,8 courses par heure de service. Les taxis sont toutefois partagés par plusieurs chauffeurs au cours de l'année et durant une semaine moyenne, ils sont partagés en moyenne par 1,32 chauffeur. Les indicateurs par chauffeur sont donc légèrement plus faibles que ceux par véhicule. Ceux-ci travaillent en moyenne 10,3 heures par jour, effectuent 8,1 courses durant ces heures et font en moyenne un revenu brut de 117 \$ par jour ou 11,40 \$ par heure (sans pourboire). Finalement, l'aéroport est une zone de grand intérêt pour le transport par taxi. Les courses qui y débutent sont assujetties à une tarification spéciale qui les rendent plus lucratives que celles du reste du territoire. En moyenne, 670 courses par jour débutent dans la zone restreinte de l'aéroport et 1570 s'y destinent. Ensemble, ces courses représentent 6% de l'ensemble des courses de taxi de Montréal. Avec une moyenne de 33 \$ par course, les courses ayant une origine ou une destination à l'aéroport ont généré des revenus de 27 millions de dollars en 2016, soit 14 % des revenus totaux.

Finalement, le chapitre 6 présente une analyse de l'utilisation des permis qui a été effectuée afin de susciter la réflexion sur la régulation du nombre de permis de taxi autorisés à desservir un territoire. L'analyse s'est appuyée sur un échantillon d'environ 1500 permis réguliers qui ont été observés durant au moins 300 jours dans les données de 2016 afin d'analyser leur taux d'utilisation.

Ce taux d'utilisation a été défini comme le ratio des heures en service sur les heures théoriques possibles d'utilisation. Pour un permis actif du 1^{er} janvier au 31 décembre, celui-ci peut théoriquement être en service $366 * 24 \text{ h} = 8\,784$ heures. En somme, en 2016, le taux d'utilisation moyen d'un permis a été établi à 46,6%. Pour un permis actif sur l'ensemble des semaines de l'année, ceci correspond à une moyenne hebdomadaire de 78,2 heures. Ce taux diffère selon l'agglomération du permis, alors qu'il est plus faible pour A-12 (40,9 %) et A-05 (42,2%) que pour A-11 (47,9 %). Le nombre de chauffeurs se partageant un permis est aussi un facteur qui affecte l'utilisation. Ainsi, un permis utilisé par un seul chauffeur possède un taux d'utilisation moyen de 41,7 % contre 49,3 % lorsque partagé par deux chauffeurs et 50,9 % lorsque partagé par trois chauffeurs ou plus, confirmant qu'un permis n'est pas partagé équitablement entre les chauffeurs.

7.2 Limitations

Les analyses et les indicateurs qui ont été calculés dans le cadre de ce mémoire sont basés sur un ensemble de données de taxi provenant de trois intermédiaires en service de Montréal. Tout au long de la recherche, plusieurs limitations importantes liées au format des données utilisées, au dispositif de collecte de données à bord des véhicules ainsi qu'au nombre d'intermédiaires et de véhicules observés ont été identifiées. Il convient de rassembler ici les principales limitations qui furent, pour la plupart, mentionnées au fil du texte. Pour chaque limitation, l'impact potentiel sur les indicateurs calculés est détaillé.

Catégorie 1 : Échantillon de permis observés

1. Territorialité des intermédiaires : Si les taxis d'un intermédiaire actif dans une agglomération sont autorisés à desservir l'ensemble de cette agglomération, il apparaît que la desserte d'un intermédiaire se concentre dans certains quartiers seulement. Ce phénomène est d'ailleurs observé chez Taxi Hochelaga alors que les véhicules A-11 de cet intermédiaire concentrent leurs activités dans la partie est de l'agglomération et effectuent très peu de service à l'ouest du Mont-Royal.

Impacts : Cette territorialité des intermédiaires entraîne une sur-représentation de certains quartiers et une sous-représentation d'autres. Par exemple, au regard des cartes d'offre de service et de courses effectuées, LaSalle semble moins bien desservi par les véhicules des trois

intermédiaires observés. À l'inverse, Montréal-Nord semble surreprésenté par rapport aux autres quartiers de la zone A-05.

2. Limitations liées au territoire A-05 : Une proportion de permis moins importante que pour les deux autres agglomérations est observée pour A-05, particulièrement au début de l'année 2016.

Impacts : En observant 20% ou moins des permis A-05 (variable selon les mois), l'incertitude sur l'ensemble des indicateurs de cette agglomération augmente considérablement puisque le comportement individuel de chaque permis observé a un impact plus élevé sur les indicateurs pondérés.

3. Limitations liées aux permis d'aéroport : Seuls 51 permis d'aéroport sur 310 sont observés dans les données (16%), augmentant ainsi l'incertitude sur les analyses des courses et de l'offre de service sur le territoire de l'Aéroport. De plus, plusieurs indices semblent indiquer qu'une part importante des taxis d'aéroport ne sont pas affiliés à un intermédiaire.

Impacts : Ces deux particularités augmentent considérablement les incertitudes sur les indicateurs liés à l'aéroport, notamment les courses y débutant. L'asymétrie entre les courses à l'origine et celles à destination de l'aéroport ainsi que des discussions avec Revenus Québec et le BTM laissent d'ailleurs penser que le nombre de courses à l'origine de l'aéroport et les revenus générés sont sous-estimés.

4. Limitations liées à l'ensemble du territoire : Le BTM estime qu'environ 1400 taxis à Montréal ne sont pas affiliés à un intermédiaire en service. Il est fort probable que ces véhicules, qui n'ont pas accès à un service de répartition, ne se comportent pas de la même façon que les véhicules associés à un intermédiaire. Malheureusement, aucun de ces véhicules n'est observé dans les données utilisées dans ce mémoire et comme il était nécessaire de pouvoir estimer les activités de taxi pour l'ensemble des taxis du territoire, ces indépendants se voient attribuer le même comportement que les taxis des trois intermédiaires observés

Impacts : Puisqu'il n'est pas possible de comparer le comportement des taxis indépendants à ceux affiliés à des intermédiaires, il est très difficile d'estimer les impacts de cette limitation. Un représentant de l'industrie a toutefois mentionné lors d'une rencontre que les indépendants

font en moyenne moins de courses que ceux bénéficiant du service de répartition d'un intermédiaire. Il est aussi probable que les horaires de travail de ces véhicules diffèrent, choisissant de concentrer leurs activités aux heures de la semaine où la demande est plus concentrée dans certaines zones, augmentant ainsi leur chance de trouver des clients sur la rue.

En somme, les limitations de cette catégorie devraient disparaître lorsque le registre des taxis actuellement en développement par le BTM sera opérationnel et que tous les taxis de l'île y transmettront leurs données.

Catégorie 2 : Mauvais fonctionnement des dispositifs à bord et erreurs de manipulation humaine

5. Il a été observé que pour certains véhicules des intermédiaires Coop de l'Ouest et Taxi Hochelaga utilisant le système de répartition Fraxion, le dispositif ne permettait pas l'utilisation d'un statut « en course », rendant alors impossible l'identification des courses de ces véhicules dans les données GPS. Si des mises à jour du système à bord des véhicules ont permis de réduire, au cours de 2016, le nombre de véhicules dans cette situation, il semble que même une fois leur système mis à jour, certains véhicules n'effectuent pas ou très peu de courses durant leurs heures actives. Cette observation conduit à la question : ce dispositif fonctionne-t-il correctement, le chauffeur l'utilise-t-il de la bonne façon, déclare-t-il toutes les courses qu'il effectue ?

Impacts : Cette limitation est critique puisqu'il est impossible de savoir quelle proportion des courses n'est pas enregistrée dans les données, menant donc à une probable sous-estimation des courses effectuées.

Catégorie 3 : mauvaise adaptation des dispositifs à bord aux activités des taxis de Montréal

6. Les systèmes utilisés par les intermédiaires en service observés offrent un nombre limité d'options de statut du véhicule. C'est-à-dire qu'il n'existe pas de statuts particuliers lorsque les taxis effectuent certains types de service qui ne sont pas des courses régulières de taxi. Le cas des courses de transport adapté a été mentionné à plusieurs reprises au cours du mémoire. Sans un statut spécial : « transport adapté » ou « autre service », les chauffeurs

doivent utiliser les statuts « non-disponible » ou « hors-service » lorsqu'ils effectuent ce type de courses. Il en va de même pour d'autres services effectués par les taxis comme des livraisons, du déverrouillage de portière, des courses de taxi collectif pour la STM, etc. Ces mêmes statuts, « non-disponible » ou « hors-service », peuvent aussi être utilisés dans d'autres situations, comme lorsqu'un véhicule retourne vers sa zone ou se déplace à des fins personnelles.

Impacts : L'impossibilité d'identifier ces services dans les données tend donc à augmenter le kilométrage et la durée à vide des taxis observés et à sous-estimer les revenus des chauffeurs.

Catégorie 4 : Méthodologie utilisée pour préparer les données

7. Lorsque les informations sur les courses sont sauvegardées dans les données, il est essentiel de s'assurer de la validité de ces courses. Des distances, durées et vitesses seuils ont été utilisées pour filtrer un nombre significatif de courses jugées erronées (très souvent de très courte durée et distance). Il reste néanmoins que l'utilisation de ces seuils n'est pas une méthode optimale pour s'assurer de la validité de l'ensemble des courses.

Impacts : Il est probable que des courses supprimées étaient en réalité des courses valides et à l'inverse des courses préservées étaient des courses invalides.

7.3 Contributions

Ce projet de recherche faisait suite à ce qui avait été entamé par Lacombe dans son mémoire déposé en 2016. En poursuivant là où Lacombe s'était arrêté, le présent mémoire contribue de plusieurs façons à faire avancer la recherche sur le transport par taxi, à mieux cerner les problématiques de cette industrie et à développer des outils méthodologiques visant l'amélioration et la modernisation de ce mode de transport. Tout d'abord, la revue de l'historique et des formes de la réglementation du transport par taxi et la revue des enjeux soulevés par l'arrivée des TNCs contribuent à mieux identifier les problématiques et limitations actuelles de la régulation du taxi par un système de permis. Par la suite, la mise en contexte de l'industrie du taxi au Québec constitue un bon résumé de la réglementation entourant le système de permis de propriétaire de taxi en vigueur dans la province et peut s'avérer particulièrement utile pour comprendre cette réglementation sans devoir lire la loi. Du point de vue méthodologique, la construction de la base de données, particulièrement

les étapes de traitement et de préparations des données, a permis de bien identifier l'ensemble des défis que constitue le calcul d'indicateurs de l'offre et de la demande de taxis à partir de sources multiples. Les seuils de validation des courses qui ont été établis viennent pallier un manque important à ce sujet dans la littérature. L'architecture du tableau de bord interactif de consultation des indicateurs est un jalon notable dans la transmission de l'information entre le milieu de la recherche et les acteurs de l'industrie, principalement le Bureau du taxi de Montréal, la Commission des transports du Québec, Revenu Québec et les intermédiaires en service de taxi. Ce tableau de bord, si construit et gardé à jour, peut être un outil important d'amélioration des services de transport par taxi dans la province. Parmi l'ensemble des indicateurs, le taux d'utilisation des permis qui a été calculé au dernier chapitre peut constituer un outil important pour la CTQ dans son mandat d'établir le nombre de permis autorisés à desservir les agglomérations de taxi du Québec.

Par la suite, si quelques-uns des indicateurs calculés ici avaient déjà été présentés par Lacombe (2016), plusieurs autres n'avaient jamais été calculés auparavant à Montréal et au Québec. Parmi ces nouveaux indicateurs, les plus importants sont ceux liés aux revenus générés par les courses de taxis, ceux liés à la demande et à l'offre de taxi à l'Aéroport de Montréal et ceux liés aux méthodes de comparaison de l'offre et de la demande sur le territoire. De plus, la disponibilité des données provenant de trois intermédiaires en service a permis de calculer et de comparer pour la première fois les indicateurs pour les trois agglomérations de taxi de Montréal.

Finalement, un article a été présenté sous forme d'affiche lors du 96^e congrès annuel du Transportation Research Board à Washington D.C. en janvier 2017. L'article présentait une analyse spatio-temporelle de la demande de taxi. Ainsi, la distribution journalière de la demande pour chaque quartier de la ville était classifiée en utilisant la méthode des k-moyennes et comparée aux caractéristiques socio-démographiques de chaque quartier. Cet article s'insère dans une démarche visant à mieux comprendre les déterminants de la demande de déplacements par taxi.

7.4 Recherches futures et perspectives

La richesse des données de taxi explorées dans le cadre de ce projet offre de nombreuses possibilités d'analyse pouvant répondre à plusieurs objectifs de planification, de compréhension et d'amélioration du transport par taxi. Ainsi, les indicateurs identifiés et calculés dans le cadre de ce

mémoire peuvent être améliorés et complétés par d'autres données dans l'objectif de mieux comprendre la relation entre l'offre et la demande de taxi. Par exemple, tout ce qui touche les postes d'attente n'a pas été étudié, ceux-ci sont pourtant au cœur de la relation entre l'offre et la demande de taxi. La précision des données permettrait une analyse très fine de l'utilisation des postes d'attente qui pourrait aider à déterminer si leur nombre, leur positionnement et leur taille peuvent être bonifiés de façon afin offrir un meilleur service à la population tout en réduisant le kilométrage à vide associé à la recherche de clients.

Du point de vue de la réglementation, la présence des agglomérations de taxis, si elle permet de préserver un niveau de service dans les secteurs moins denses, entraîne aussi des déplacements à vide qui pourraient potentiellement être évités. En effet, il a été établi que 15 % des courses de taxi à Montréal avaient une origine et une destination dans des agglomérations différentes. Il serait intéressant de pouvoir modéliser ce à quoi ressemblerait une journée de taxi en l'absence de ces zones. De plus, la réglementation spéciale actuellement en place à l'Aéroport de Montréal entraîne un kilométrage à vide qui pourrait être évité par la mise en place d'un meilleur système de contrôle de l'offre dans cette zone.

D'autre part, la combinaison de scénarios d'offre avec des modèles de génération de la demande pourrait permettre de tester d'autres modifications réglementaires visant à aider l'offre à mieux s'adapter à la demande. De telles améliorations pourraient permettre de réduire le kilométrage et le temps à vide tout en assurant de préserver un certain niveau de service en tout temps et en tout lieu. À titre exemple, quel serait l'effet sur le balancement de l'offre et de la demande d'un système dynamique des tarifs à l'image des systèmes utilisés par les entreprises de transport technologique ?

Finalement, la recherche effectuée dans le cadre de ce mémoire s'est concentrée exclusivement sur le taxi. Les données pourraient toutefois être utilisées afin de mieux comprendre la relation entre le taxi et les autres modes de transport, notamment le transport en commun, le vélo en libre-service et les véhicules en libre-service.

BIBLIOGRAPHIE

- ADM. (2015, 2 septembre). Tirage au sort des permis de taxis d'Aéroport [Communiqué de Presse]. Repéré à http://www.admtl.com/sites/default/files/2015-comm-Permis%20de%20taxis_F.pdf
- AMT. (2015). *Enquête Origine-Destination 2013 de la région de Montréal, version 13.2b* (p. Traitement : Jérôme Laviolette). AMT.
- Beer, R., Brakewood, C., Rahman, S. et Viscardi, J. (2016). Qualitative Analysis of Ridehailing Regulations in Major American Cities. *TRB Annual Meeting Online*. Repéré à <http://amonline.trb.org/63532-trb-1.3393340/t016-1.3406175/749-1.3406280/17-00755-1.3406292/17-00755-1.3406293>
- Bekken, J. T. et Longva, F. (2003). Impact of taxi market regulation. *TOI Report*. Repéré à <http://www.123starcab.net/Download/DeRe-TOI-Studie%20-%20Impact%20of%20Taxi%20Market%20Regulation-English.pdf>
- Bekken, J.-T. (2003). *Taxi Regulation in Europe: Final Report*.
- Bischoff, J., Maciejewski, M. et Sohr, A. (2015). Analysis of Berlin's taxi services by exploring GPS traces. Dans *2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)* (p. 209-215). doi:10.1109/MTITS.2015.7223258
- BIXI. (2015). *Plan d'affaire 2015-2019 BIXI-Montréal*. Repéré à https://montreal.bixi.com/c/bixi/file_db/financial_statement.doc_fr/plan-d-affaires-2015-2019.pdf
- BIXI. (2017). Données Ouvertes BIXI. *BIXI Montreal*. Repéré 15 juin 2017, à <https://www.bixi.com/fr/donnees-ouvertes>
- Bureau du Taxi de Montréal. (2016). *Rapport Annuel 2015*. Repéré à http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/bur_taxi_fr/media/documents/RAPPORT_ANNUEL_2015.pdf
- Bureau du Taxi de Montréal. (2017a). La solution Registre des Taxis. Document Interne.
- Bureau du Taxi de Montréal. (2017b, 30 mai). Ville de Montréal - Bureau du taxi de Montréal - Intermédiaires en service de taxi. Web page. Repéré 30 mai 2017, à http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=8177,92215630&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Cairns, R. D. et Liston-Heyes, C. (1996). Competition and regulation in the taxi industry. *Journal of Public Economics*, 59(1), 1-15. doi:10.1016/0047-2727(94)01495-7
- Chang, H., Tai, Y., Chen, H., Hsu, J. Y. et Kuo, C. P. (2008). iTaxi: Context-aware taxi demand hotspots prediction using ontology and data mining approaches. *Proc. of TAAI*. Repéré à <http://w.csie.org/~yctai/papers/iTaxi.pdf>
- Chokkattu, J. et Crook, J. (2014, 14 août). A Brief History Of Uber. *TechCrunch*. Repéré à <http://social.techcrunch.com/gallery/a-brief-history-of-uber/slide/23/>
- Cloutier, J.-S. (2014, 29 octobre). L'application de covoiturage UberX arrivée à Montréal. *Radio-Canada.ca*. Repéré 9 juin 2017, à <http://radio-canada.ca/nouvelle/691397/application-uberx-conducteurs-covoiturage-taxi>

- Colville-Andersen, M. (2017, 14 juin). The Best Biking Cities on the Planet. *WIRED*. THE 20 MOST BIKE-FRIENDLY CITIES IN THE WORLD, FROM MALMÖ TO MONTREAL. Repéré 16 juin 2017, à <https://www.wired.com/story/world-best-cycling-cities-copenhagenize/>
- Commission des Transports du Québec. (2017, 7 juin). Carte interactive: CTQ - Commission des transports du Québec. *Carte Interactive*. Repéré 11 juin 2017, à <https://www.ctq.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/CarteInteractive/carte.html>
- Committee for Review of Innovative Urban Mobility Services - TRB et NASEM. (2016). *Between Public and Private Mobility: Examining the Rise of Technology-Enabled Transportation Services*. Washington, D.C. : National Academies Press. doi:10.17226/21875
- Corriveau, J. (2017, 28 mars). L'industrie du taxi crie au secours. *Le Devoir*. Repéré à <http://www.ledevoir.com/politique/montreal/495016/permis-taxis>
- CPCDIT. (2016). Commission parlementaire. *CPCDIT*. Repéré 9 juin 2017, à <http://www.cpcdit.ca/commission-parlementaire/>
- CTQ. (2012). Tarif de transport privé - CTQ - Commission des transports du Québec. Repéré 2 juin 2017, à https://www.ctq.gouv.qc.ca/taxi/tarifs_de_transport_par_taxi/tarif_de_transport_privé.html
- CTQ. (2017). Quelles sont les responsabilités des divers intervenants qui encadrent le transport par taxi? - CTQ - Commission des transports du Québec. Repéré 2 juin 2017, à https://www.ctq.gouv.qc.ca/foire_aux_questions/taxi/quelles_sont_les_responsabilites_de_s_divers_intervenants_qui_encadrent_le_transport_par_taxi.html
- Daoust, J. Loi modifiant diverses dispositions législatives concernant principalement les services de transport par taxi. , n° 100 (2016). Repéré à <http://www.assnat.qc.ca/fr/travaux-parlementaires/projets-loi/projet-loi-100-41-1.html>
- Daus, M. W. (2012). « ROGUE » SMARTPHONE APPLICATIONS FOR TAXICABS AND LIMOUSINES: INNOVATION OR UNFAIR COMPETITION? Repéré à [http://www.windelsmarx.com/resources/documents/Rogue%20Applications%20Memo%20\(updated%208.6.12\)%20\(10777883\).pdf](http://www.windelsmarx.com/resources/documents/Rogue%20Applications%20Memo%20(updated%208.6.12)%20(10777883).pdf)
- Dempsey, P. S. (1996). *Taxi Industry Regulation, Deregulation, and Reregulation: The Paradox of Market Failure* (SSRN Scholarly Paper n° ID 2241306). Rochester, NY : Social Science Research Network. Repéré à <https://papers.ssrn.com/abstract=2241306>
- Dough. (2016, 8 juin). What's the difference between Lyft, Lyft Plus, Lyft Line, Premier, and Lux? *RideSharingDriver*. Repéré à <http://www.ridesharingdriver.com/whats-the-difference-between-lyft-lyftplus-and-line/>
- ECMT. (2007). *(De)Regulation of the Taxi Industry*. Paris : Organisation for Economic Co-operation and Development. Repéré à <http://www.oecd-ilibrary.org/content/book/9789282101155-en>
- Environnement Canada. (2016). Rapport de données quotidiennes pour décembre 2016 - Climat - Environnement et Changement climatique Canada. Repéré 21 juillet 2017, à http://climat.meteo.gc.ca/climate_data/daily_data_f.html?hlyRange=2008-01-08%7C2017-07-20&dlyRange=2002-12-23%7C2017-07-

20&mlyRange=%7C&StationID=30165&Prov=QC&urlExtension=_f.html&searchType=stnName&optLimit=yearRange&StartYear=1840&EndYear=2017&selRowPerPage=25&Line=17&searchMethod=contains&Month=12&Day=20&txtStationName=Montreal&timeframe=2&Year=2016

- Ferraris, F. S. G. (2017, 27 mars). Taxi et Uber, un écosystème en mutation. *Le Devoir*. Repéré à <http://www.ledevoir.com/societe/actualites-en-societe/494925/taxi-et-uber-taxi-et-uber-un-ecosysteme-en-mutation>
- Ferreira, N., Poco, J., Vo, H. T., Freire, J. et Silva, C. T. (2013). Visual Exploration of Big Spatio-Temporal Urban Data: A Study of New York City Taxi Trips. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12), 2149-2158. doi:10.1109/TVCG.2013.226
- Frankena, M. W. et Pautler, P. A. (1984). *An Economic Analysis of Taxicab Regulation* (p. 168). Bureau of Economics Staff Report. Repéré à <https://www.ftc.gov/sites/default/files/documents/reports/economic-analysis-taxicab-regulation/233832.pdf>
- Gazette Officielle du Québec. (2016, 30 septembre). Arrêté ministériel #2016-16 du MTMDet, 148e année(39A). Repéré à https://www.ctq.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/publications/Arrete_Ministeriel_UBER.pdf
- Gouvernement du Canada, S. C. (2017a, 8 février). Profil du recensement, Recensement de 2016 - Montréal [Région métropolitaine de recensement], Québec et Québec [Province]. Repéré 14 juin 2017, à <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=F&Geo1=CMACA&Code1=462&Geo2=PR&Code2=24&Data=Count&SearchText=Montreal&SearchType=Begins&SearchPR=01&B1=All&TABID=1>
- Gouvernement du Canada, S. C. (2017b, 8 février). Profil du recensement, Recensement de 2016 - Montréal, Ville [Subdivision de recensement], Québec et Montréal, Territoire équivalent [Division de recensement], Québec. Repéré 14 juin 2017, à <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=F&Geo1=CSD&Code1=2466023&Geo2=CD&Code2=2466&Data=Count&SearchText=Montreal&SearchType=Begins&SearchPR=01&B1=All&TABID=1>
- Gouvernement du Québec. (2016, 9 septembre). Entente de Principe entre Uber et le MTMDet.
- Gouvernement du Québec. (2017a, mars). Loi concernant les services de transport par taxi. Repéré à <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showDoc/cs/S-6.01?&digest=>
- Gouvernement du Québec. (2017b, 30 mai). Taxi - CTQ - Commission des transports du Québec. Repéré 30 mai 2017, à <https://www.ctq.gouv.qc.ca/taxi.html>
- Gouvernement du Québec. (2017c, 31 mai). Mécanisme de fixation des tarifs - CTQ - Commission des transports du Québec. Repéré 31 mai 2017, à https://www.ctq.gouv.qc.ca/taxi/tarifs_de_transport_par_taxi/mecanisme_de_fixation_des_tarifs.html#c433
- Haider, M. (2015). To Uber or Not to Uber: That is the Question. Repéré à http://stream1.newswire.ca/media/2015/09/29/20150929_C6395_PDF_EN_508957.pdf

- Harding, S., Kandlikar, M. et Gulati, S. (2016). Taxi apps, regulation, and the market for taxi journeys. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 88, 15-25. doi:10.1016/j.tra.2016.03.009
- Hochmair, H. H. (2015). Spatio-temporal Pattern Analysis of Taxi Trips in New York City. Communication présentée au TRB Annual Meeting.
- Jian-cheng, W., Ya-qiao, Z., Xiao-juan, Z. et Jian, R. (2009). Floating Car Data Based Taxi Operation Characteristics Analysis in Beijing. Dans *2009 WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering* (vol. 5, p. 508-512). doi:10.1109/CSIE.2009.815
- Kamga, C., Yazici, M. A. et Singhal, A. (2013). Hailing in the rain: Temporal and weather-related variations in taxi ridership and taxi demand-supply equilibrium. Dans *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*. Repéré à https://www.researchgate.net/profile/M_Anil_Yazici/publication/255982467_Hailing_in_the_Rain_Temporal_and_Weather-Related_Variations_in_Taxi_Ridership_and_Taxi_Demand-Supply_Equilibrium/links/00b4952cb68b74cfd3000000.pdf
- Lacombe, A. (2016). *Méthodologie d'analyse et de suivi d'un système de transport par taxi* (Mémoire de maîtrise). Polytechnique Montréal, Montréal, Québec.
- Lacombe, A. et Morency, C. (2015). Modeling Taxi Trip Generation Using GPS Data: The Montreal Case. Communication présentée au Transportation Research Board 95th Annual Meeting. Repéré à <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1393633>
- LADOT. (2015). *LOS ANGELES TAXICAB REVIEW AND PERFORMANCE REPORT (2013 Annual Review)*. LOS ANGELES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION BUREAU OF FRANCHISE AND TAXICAB REGULATION. Repéré à http://ladot.lacity.org/sites/g/files/wph266/f/LACITYP_031896.pdf
- Lee, J., Shin, I. et Park, G.-L. (2008). Analysis of the Passenger Pick-Up Pattern for Taxi Location Recommendation (vol. 1, p. 199-204). Communication présentée au Networked Computing and Advanced Information Management, 2008. NCM '08. Fourth International Conference on, IEEE. doi:10.1109/NCM.2008.24
- Lemieux, O. (2015, 12 février). Le service UberX maintenant offert à Québec. *Radio-Canada.ca*. Repéré 9 juin 2017, à <http://radio-canada.ca/nouvelle/706555/uberx-quebec-taxi-service-covoiturage-controverse>
- Li, B., Zhang, D., Sun, L., Chen, C., Li, S., Qi, G. et Yang, Q. (2011). Hunting or waiting? Discovering passenger-finding strategies from a large-scale real-world taxi dataset. Dans *2011 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)* (p. 63-68). doi:10.1109/PERCOMW.2011.5766967
- Lipsey, R. G. et Lancaster, K. (1956). The General Theory of Second Best. *The Review of Economic Studies*, 24(1), 11-32. doi:10.2307/2296233
- Liu, L., Andris, C. et Ratti, C. (2010). Uncovering cabdrivers' behavior patterns from their digital traces. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(6), 541-548. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2010.07.004

- Marchal, M. (2016, 27 juillet). Vers une refonte des services de taxi à l'aéroport. *Journal Métro*. Repéré à <http://journalmetro.com/actualites/montreal/998822/vers-une-refonte-des-services-de-taxi-a-laeroport/>
- Marell, A. et Westin, K. (2002). The effects of taxicab deregulation in rural areas of Sweden. *Journal of Transport Geography*, 10(2), 135-144. doi:10.1016/S0966-6923(02)00006-6
- New York City Taxi & Limousine Commission. Notice of Promulgation of Rules (2011). Repéré à http://www.nyc.gov/html/tlc/downloads/pdf/owner_must_drive_version_10.pdf
- Newson, P. et Krumm, J. (2009). Hidden Markov map matching through noise and sparseness. Dans *Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL international conference on advances in geographic information systems* (p. 336–343). ACM. Repéré à <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1653818>
- Ngo, V. D. (2015, 4 décembre). *Transportation network companies and the ridesourcing industry : a review of impacts and emerging regulatory frameworks for Uber* (University of British Columbia). Repéré à <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/graduateresearch/42591/items/1.0220795>
- Noreau, L. (2017, 27 mars). Uber : pas question de mettre un terme au projet-pilote. *La Presse*. Repéré à <http://www.lapresse.ca/actualites/201703/27/01-5082729-uber-pas-question-de-mettre-un-terme-au-projet-pilote.php>
- NYC Taxi & Limousine Commission. (2014). *Taxicab Fact Book* (p. 14). New York, NY, USA. Repéré à http://www.nyc.gov/html/tlc/downloads/pdf/2014_taxicab_fact_book.pdf
- NYC Taxi & Limousine Commission. (2017). NYC Taxi & Limousine Commission - Trip Record Data. *TLC Trip Record Data*. Gouvernemental. Repéré 12 juin 2017, à http://www.nyc.gov/html/tlc/html/about/trip_record_data.shtml
- Pele, N. et Morency, C. (2014). When, Where and How Taxis Are Used in Montreal. Communication présentée au Transportation Research Board 93rd Annual Meeting. Repéré à <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1289110>
- Pink, O. et Hummel, B. (2008). A statistical approach to map matching using road network geometry, topology and vehicular motion constraints. Dans *2008 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems* (p. 862-867). doi:10.1109/ITSC.2008.4732697
- PostgreSQL. (2017a). PostgreSQL: About. Repéré 17 juin 2017, à <https://www.postgresql.org/about/>
- PostgreSQL. (2017b). PostgreSQL: Documentation: 9.1: Introduction - Chapter 11 - Indexes. Repéré 18 juin 2017, à <https://www.postgresql.org/docs/9.1/static/indexes-intro.html>
- PostgreSQL. (2017c). PostgreSQL: Documentation: 9.5: Schemas. Repéré 17 juin 2017, à <https://www.postgresql.org/docs/9.5/static/ddl-schemas.html>
- Price Waterhouse. (1993). *Analysis of Taxicab Deregulation and Re-Regulation*. Washington DC. Repéré à <https://www.colorado.gov/pacific/sites/default/files/0708TransAttachI.pdf>
- Qian, X. et Ukkusuri, S. V. (2015). Spatial variation of the urban taxi ridership using GPS data. *Applied Geography*, 59, 31-42. doi:10.1016/j.apgeog.2015.02.011

- Radio-Canada, Z. É.-. (2016, 8 septembre). La saga d'Uber au Québec. *Radio-Canada.ca*. Repéré 9 juin 2017, à <http://radio-canada.ca/nouvelle/781837/uber-chauffeurs-taxi-quebec-controverse>
- Ray, M. et Cooper, D. J. (2010). *Taxi! Urban Economies and the Social and Transport Impacts of the Taxicab*. Taylor and Francis. Repéré à <https://ebookcentral.proquest.com/lib/polymtl-ebooks/detail.action?docID=476262>
- Rayle, L., Shaheen, S., Chan, N., Dai, D. et Cervero, R. (2014). App-based, on-demand ride services: Comparing taxi and ridesourcing trips and user characteristics in san francisco university of california transportation center (uctc). *University of California, Berkeley, United States Rogers, B.(2015) The social costs of Uber. James E. Beasley School of Law, Temple University, Philadelphia, United States*. Repéré à http://www.its.dot.gov/itspac/dec2014/ridesourcingwhitepaper_nov2014.pdf
- Savage, T. H. et Vo, H. T. (2013). Yellow cabs as red corpuscles. Dans *2013 IEEE International Conference on Big Data* (p. 22-28). doi:10.1109/BigData.2013.6691773
- Schaller, B. (2005). A Regression Model of the Number of Taxicabs in U.S. Cities. *Journal of Public Transportation*, 8(5). doi:<http://dx.doi.org/10.5038/2375-0901.8.5.4>
- Schaller, B. (2007). Entry controls in taxi regulation: Implications of US and Canadian experience for taxi regulation and deregulation. *Transport Policy*, 14(6), 490-506. doi:10.1016/j.tranpol.2007.04.010
- Schaller, B. (2017). *UNSUSTAINABLE? The Growth of App-Based Ride Services and Traffic, Travel and the Future of New York City* (p. 34). Repéré à <http://www.schallerconsult.com/rideservices/unsustainable.pdf>
- Schreiber, C. (1975). The Economic reasons for price and entry regulation of taxicabs. *Journal of Transport Economics and Policy*, 9(3), 268-279.
- Shaw, L. C., Gilbert, G., Bishop, C. et Pruitt, E. (1983). TAXICAB REGULATION IN U.S. CITIES. VOLUME 1: FINAL REPORT. Repéré à <https://trid.trb.org/view.aspx?id=198601>
- Smith, Goodchild et Longley. (2015). *Geospatial Analysis* (5e éd.). E-Book. Repéré à <http://www.spatialanalysisonline.com/HTML/index.html>
- STM. (2017a). *La mobilité des Montréalais - 2016*. Repéré à http://www.stm.info/sites/default/files/pdf/fr/fiches_arrondissements_2016.pdf
- STM. (2017b). *Rapport annuel 2016*. Repéré à http://www.stm.info/sites/default/files/affairespubliques/Communiqués/stm_rapport_annuel_2016_final.pdf
- Tang, H., Kerber, M., Huang, Q. et Guibas, L. (2013). Locating Lucrative Passengers for Taxicab Drivers. Dans *Proceedings of the 21st ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems* (p. 504–507). New York, NY, USA : ACM. doi:10.1145/2525314.2525471
- Tang, L., Sun, F., Kan, Z., Ren, C. et Cheng, L. (2017). Uncovering Distribution Patterns of High Performance Taxis from Big Trace Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(5), 134. doi:10.3390/ijgi6050134

- Teal, R. F. et Berglund, M. (1987). The Impacts of Taxicab Deregulation in the USA. *Journal of Transport Economics and Policy*, 21(1), 37-56.
- Toner, J. P. (1996). English experience of deregulation of the taxi industry. *Transport Reviews*, 16(1), 79-94. doi:10.1080/01441649608716935
- Uber.com/Find a City. (2017, 5 juin). *Uber.com*. Repéré 5 juin 2017, à <https://www.uber.com/en-CA/cities/>
- Veloso, M., Phithakkitnukoon, S. et Bento, C. (2011). Urban mobility study using taxi traces (p. 23-30). Communication présentée au Proceedings of the 2011 international workshop on Trajectory data mining and analysis, ACM. doi:10.1145/2030080.2030086
- Ville de Montréal. (2016). Ville de Montréal - Transport - Vélo. Web page. Repéré 10 juillet 2017, à http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=8957,99637650&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Ville de Montréal. Règlement sur le Transport par Taxi. , RCG 10-009 (2017). Repéré à <http://ville.montreal.qc.ca/sel/sypre-consultation/afficherpdf?idDoc=25141&typeDoc=1>
- Wallsten, S. (2015). The competitive effects of the sharing economy: how is Uber changing taxis? *Technology Policy Institute*, 22. Repéré à <https://techpolicyinstitute.org/wp-content/uploads/2015/06/the-competitive-effects-of-the-2007713.pdf>
- Wang, Y., Zhu, Y., He, Z., Yue, Y. et Li, Q. (2011). Challenges and opportunities in exploiting large-scale GPS probe data. *HP Laboratories, Technical Report HPL-2011-109*, 21. Repéré à <http://www.hpl.hp.com/techreports/2011/HPL-2011-109.pdf>
- Yang, C. et Gonzales, E. (2014). Modeling taxi trip demand by time of day in New York City. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2429), 110-120.
- Zhang, J. (2012). Smarter Outlier Detection and Deeper Understanding of Large-scale Taxi Trip Records: A Case Study of NYC. Dans *Proceedings of the ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing* (p. 157-162). New York, NY, USA : ACM. doi:10.1145/2346496.2346521
- Zheng, Z., Rasouli, S. et Timmermans, H. (2014). Evaluating the Accuracy of GPS-based Taxi Trajectory Records. *Procedia Environmental Sciences*, 22, 186-198. doi:10.1016/j.proenv.2014.11.019